www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

JAARGANG 23, 1961, no. 10 blz. 309-340 Verschenen: 15 februari 1962

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELEND TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

EEN 4-MeV-RÖNTGENINSTALLATIE VOOR MATERIAALONDERZOEK

door T. R. CHIPPENDALE *).

621.386.8:621.384.62:620.179.152

Voor het röntgenonderzoek van dikke stalen wanden is hardere straling nodig dan conventionele röntgenbuizen kunnen leveren. De elektronen die bij hun afremming in een trefplaat deze röntgenstraling uitzenden, moeten voor dit doel een energie van verscheidene miljoenen elektronvolt bezitten. Een aantrekkelijk middel om elektronen met deze energie te produceren, is de lineaire versneller. Men komt hiermee tot goed hanteerbare installaties, die bovendien door de grote intensiteit van de opgewekte röntgenstraling betrekkelijk korte belichtingstijden mogelijk maken. Met de hier te beschrijven installatie kan men bij 1 m afstand tussen röntgenfocus en film, en bij gebruik van een geschikte film, met een belichtingstijd van minder dan een half uur een röntgenfoto maken van een stalen wand van 30 cm dik.

Aan röntgeninstallaties voor het opsporen van holten, scheuren en andere onregelmatigheden in materialen worden uiteenlopende eisen gesteld, die o.a. samenhangen met de aard en de dikte der materialen die men wil doorlichten. Als bron van röntgenstralen kan meestal een der röntgenbuizen van conventionele constructie, die voor spanningen tot 300 à 400 kV worden vervaardigd, met succes dienst doen. De bij deze spanningen geproduceerde straling wordt echter te sterk geabsorbeerd om voor het onderzoek van zeer dik materiaal — b.v. 7 of meer cm staal — bruikbaar te zijn. Hiervoor is straling nodig van nog veel grotere quantumenergie dan met elektronen, versneld tot 400 keV, kan worden opgewekt. Men heeft met succes apparaten geconstrueerd voor hogere spanningen, waarbij resonantietransformatoren (tot 1 en zelfs 2 MV) of elektrostatische generatoren volgens Van de Graaff de spanning leveren. Ook worden in de laatste tijd als stralingsbronnen radioactieve isotopen gebruikt, die γ-straling met een quantumenergie tussen 1 en 2 MeV uitzenden. Bij radioactieve bronnen is echter de verhouding tussen afmetingen en intensiteit van de straling ongunstig. Daar het bij de bedoelde toepassing gaat om beeldvorming door projectie vanuit het röntgenfocus, moet, ter verkrijging van scherpe foto's, dit focus nagenoeg puntvormig zijn, en dit is bij een sterke radioactieve bron niet te verwezenlijken.

Voor het onderzoek van staal in dikten groter dan 7 à 10 cm is röntgenstraling, opgewekt met elektronen van 4 MeV of meer, bijzonder geschikt [1]). Men stuit op grote moeilijkheden als men tracht deze energie te verkrijgen door de elektronen, die de röntgenstraling in een trefplaat opwekken, een potentiaalverschil van 4 MV tussen katode en trefplaat te laten doorlopen. Er bestaan echter vele soorten deeltjesversnellers, zoals cyclotrons, bètatrons, lineaire versnellers enz., waarbij men, zonder zeer hoge spanningen toe te passen, toch een zeer grote deeltjesenergie verkrijgt. Röntgeninstallaties met bètatrons waarin elektronen worden versneld tot energieën van 15 en 31 MeV, worden inderdaad gebruikt [2]). Ook lineaire versnellers bezitten voor het beoogde doel aantrekkelijke eigenschappen Met een lineaire versneller kan namelijk een zeer intensief stralend röntgenfocus van kleine afmetin-

*) Mullard Research Laboratories, Salfords, Engeland.

[1]) Voor uitvoerige beschouwingen hierover zie men: C. W. Miller, Industrial radiography and the linear accelerator, J. Brit. Instn. Radio Engrs. **14**, 361-375, 1954.

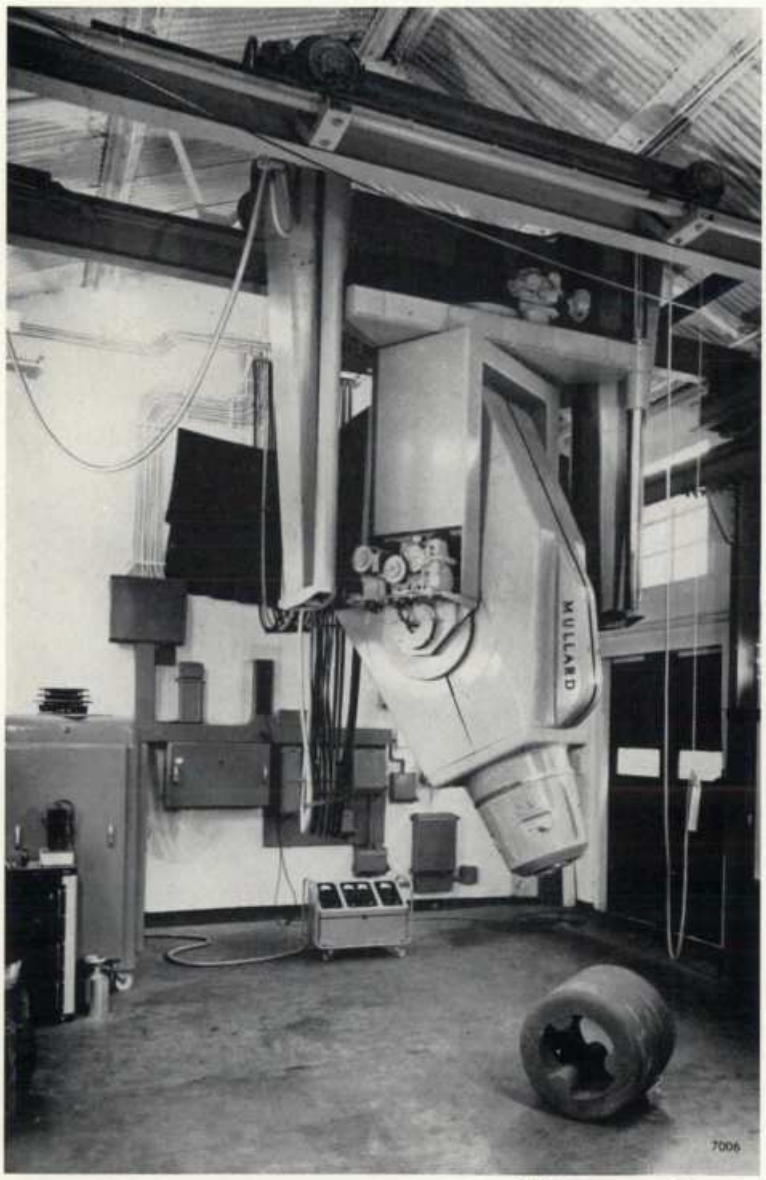
[2]) Bau und Anwendungsmöglichkeiten von Betatron-Geräten, Stahl und Eisen **73**, 705-721, 1953; W. Lückerath, K. Fink en R. Flossmann, Durchstrahlen von heissen Vorblöcken aus Stahl mit einem Betatron und Sichtbarmachen des Durchstrahlungsbildes mit einem Röntgenbildverstärker und einer Fernseheinrichtung, Stahl und Eisen **79**, 1637-1646, 1959; W. J. Oosterkamp, J. Proper en M. C. Teves, Röntgenonderzoek van hete blokken staal in een walserij, Philips techn. T. **21**, 273-277, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gen worden verkregen, wat gunstig is om de belichtingstijden kort te houden en scherpe foto's te krijgen.

In een lineaire versneller komt de versnelling tot stand doordat de elektronen door een lopende elektromagnetische golf in een rechte versnellingsbuis van bijzondere constructie, een zg. geplooide golfpijp, worden meegevoerd. Deze golf wordt opgewekt door een magnetron dat door een systeem van normale golfpijpen met de versnellingsbuis is gekoppeld. Om een energie van 4 MeV te bereiken, kan men met een versnellingsbuis ter lengte van één meter volstaan. Daar een lineaire versneller betrekkelijk licht is (er zijn geen magneten met zware ijzerkernen nodig), kan men er een goed hanteerbare installatie mee bouwen, waarvan de röntgenbundel snel en nauwkeurig in de juiste positie ten opzichte van het object kan worden gebracht. Vooral als het gaat om routineonderzoek, is dit van veel belang, want de objecten waarmee men te maken heeft als er sprake is van stalen wanden van meer dan zeven cm dikte, zijn zelf gewoonlijk moeilijk hanteerbaar. Een snelle instelling maakt het bovendien mogelijk ten volle te profiteren van de relatief korte belichtingstijden bij het onderzoek van dunner materiaal.



British crown copyrigt reserved

Fig. 1. Overzicht van de in de onderzoekruimte opgestelde delen van de 4-MeV-röntgeninstallatie die door de Mullardlaboratoria is vervaardigd voor het Britse „Armament Research and Development Establishment". Behalve de versneller en zijn ophanginrichting, en op de voorgrond het te onderzoeken object, ziet men de modulator (het ongeveer manshoge apparaat links tegen de achterwand van het vertrek) en het wagentje met de afleesinstrumenten van de vacuüminstallatie, nl. pirani-, ionisatie- en penningmanometer. Deze onderdelen worden nog nader besproken.

Een röntgeninstallatie voor materiaalonderzoek aan zware werkstukken is, ten behoeve van Mullard Equipment Ltd. te Londen, ontworpen en gebouwd door Mullard Research Laboratories te Salfords, en afgeleverd aan het Britse „Armament Research and Development Establishment". Deze installatie werkt met een lineaire versneller voor 4 MeV. De ervaring die te Salfords reeds was verkregen bij de vervaardiging van lineaire versnellers [3]) — in het bijzonder van verscheidene röntgeninstallaties voor medische doeleinden, die eveneens met lineaire versnellers voor 4 MeV zijn uitgerust [4]) —. is daarbij van grote waarde geweest De installatie — voor zover ons bekend de eerste die speciaal voor materiaalonderzoek is vervaardigd — is in juni 1956 afgeleverd (*fig. 1*). Sindsdien is zij in geregeld gebruik en heeft zij in de praktijk haar nut ten volle bewezen, en gelegenheid gegeven talrijke ervaringen en gegevens te verzamelen. *Fig. 2* geeft een indruk van de belichtingstijden die met deze installatie nodig zijn bij verschillende staaldikten.

---

[3]) C. F. Bareford en M. G. Kelliher, Een lineaire elektronenversneller voor 15 millioen elektronvolt, Philips techn.T. **15**, 177-205, 1953.

[4]) Een afbeelding met korte toelichting van zo'n röntgeninstallatie voor medische toepassing is opgenomen in Philips techn. T. **17**, 197-199, 1955; een uitvoeriger beschrijving treft men aan in: T. R. Chippendale en M. G. Kelliher, A linear accelerator for X-ray therapy, Discovery **15**, 397-404, 1954.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De versnellingsbuis is met het magnetron en het bijbehorende golfpijpsysteem, benevens een instelbare collimator voor de röntgenstraling, samengevoegd tot één geheel, dat gemonteerd is in een ophanginrichting die de verlangde snelle en accurate instelling ten opzichte van het object mogelijk

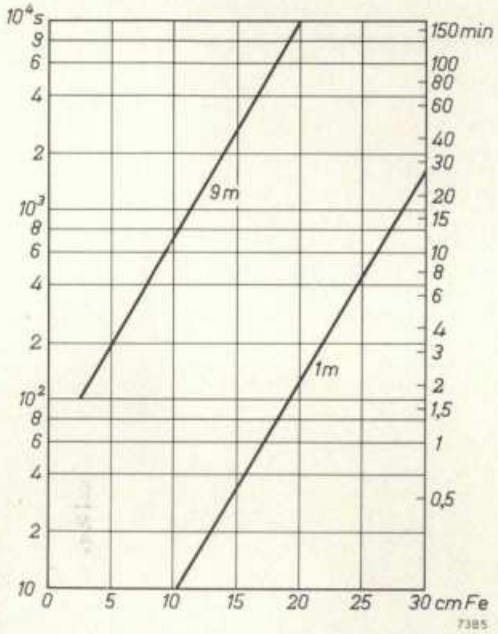


Fig. 2. Belichtingstijd in seconden en in minuten als functie van de staaldikte in cm, geldig voor de in fig. 1 afgebeelde 4-MeV-röntgeninstallatie voor materiaalonderzoek, bij resp. 1 en 9 m afstand tussen röntgenfocus en film. Gebruikte film „Ilford" Industrial F. Zwarting 2,5. Loden foelies van 0,1 mm en 0,25 mm resp. voor en achter de film.

maakt. Afzonderlijk opgesteld zijn nog de modulator, die spanningsimpulsen van 50 kV aan de versneller levert, een wagentje waarin de bedieningsorganen en de afleesinstrumenten voor de vacuümmeetapparatuur zijn ondergebracht (alles zichtbaar in fig. 1), benevens — in een afzonderlijk tegen straling afgeschermd vertrek — de bedieningslessenaar en de voedingsapparatuur (*fig. 3*). Het schema *fig. 4* brengt de samenhang dezer onderdelen in beeld.

Dit artikel behandelt de ophanging van de versneller, de instelbare röntgencollimator, het vacuümsysteem, de focussering op de trefplaat van de door de versnellingsbuis geleverde elektronenbundel, de intensiteit van de röntgenstraling, en het deelt iets mee over de bereikbare resultaten. Daarna volgen bijzonderheden over de apparatuur voor het versnellen van de elektronen, met name over de modulator, het elektronenkanon, het rechthoekige-golfpijpsysteem, en over de versnellingsbuis. Aan het slot van het artikel worden enige bijzonderheden vermeld over een installatie van recentere datum, uitgerust met dezelfde versneller, maar geheel transportabel uitgevoerd.

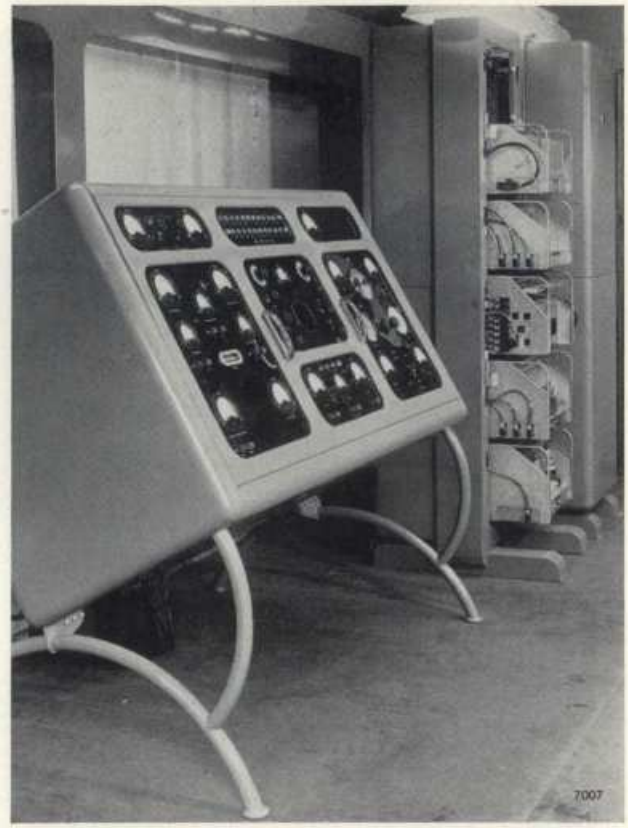


Fig. 3. De bedieningslessenaar en, op de achtergrond, twee kasten met voedingsapparatuur, waarvan er één is geopend. De ruimte waarin deze onderdelen van de röntgeninstallatie zijn opgesteld, is tegen straling afgeschermd.

De ophanging

De ophanging (*fig. 5*) van de versneller doet denken aan een loopkraan. Het versnellerhuis draagt aan de voorzijde de instelbare collimator, waar de röntgenbundel uittreedt. De versneller kan vijf onafhankelijke bewegingen uitvoeren, waarvoor vijf elektromotoren zijn aangebracht. Ten eerste is de versneller met twee horizontale tappen gelegerd in een U-freem *3* en kan aldus elevaties van 5° boven

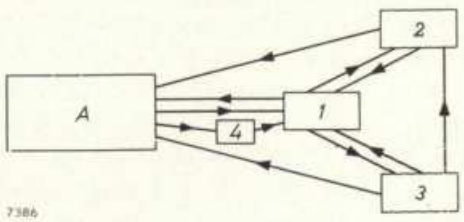


Fig. 4. Blokschema van de installatie. *A* versneller, *1* bedieningslessenaar, *2* modulator, *3* voedingsapparatuur, *4* vacuümmeetapparatuur.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de horizontale tot 5° voorbij de verticale stand aannemen. Om aan motor en tandwieloverbrenging, die op het U-freem zijn gemonteerd (zie fig. 1), minimale eisen te hoeven stellen, is de versneller, compleet met collimator en alle voedingskabels en -slangen (zichtbaar in fig. 1) ten opzichte van de ondersteuning gebalanceerd. Door de tap die in fig. 5 zichtbaar is, loopt de vacuümleiding van de versnellingsbuis naar de oliediffusiepomp. Een speciale, nog nader te bespreken, koppeling in deze leiding maakt dat deze pomp altijd verticaal kan blijven als men de versneller om zijn horizontale as draait. Ten tweede is het U-freem met een korte holle, 30 cm dikke, verticale steel gelegerd in het „hefplateau" 7. Daardoor kan de versneller vanuit de middenpositie naar beide zijden 45° draaien. Ten derde kan het hefplateau ca. 2,5 m op en neer bewogen worden doordat het op twee diagonaal tegenover elkaar gelegen hoeken gedragen wordt door moeren op verticale draadspillen 2. Deze $1\frac{1}{2}$''-spillen zijn gelegerd in de verticale draagarmen 4 van het ophangfreem, dat verder wordt gevormd door de loopkat, en dat vervaardigd is van staalplaat van 6 mm dikte met verstijvingsschotten. De draadspillen worden via wormoverbrengingen aangedreven door een op de loopkat geplaatste motor. Twee holle ronde geleiders 5 van 10 cm diameter en 45 cm lange bussen 6 op de twee andere hoeken van het hefplateau garanderen een soepele beweging. Ten vierde kan de loopkat rijden over rails, die gemonteerd zijn op twee profielbalken, die de wielkasten van de loopwagen verbinden. Ten vijfde rijdt de loopwagen zelf op een hoog gelegen rijbaan. Bij de hier besproken installatie zijn de afstanden waarover loopkat en loopwagen kunnen rijden, door de constructie van het gebouw beperkt tot ca. 2,5 m. Voor alle bewegingsmogelijkheden zijn eindschakelaars en begrenzingsaanslagen aangebracht.

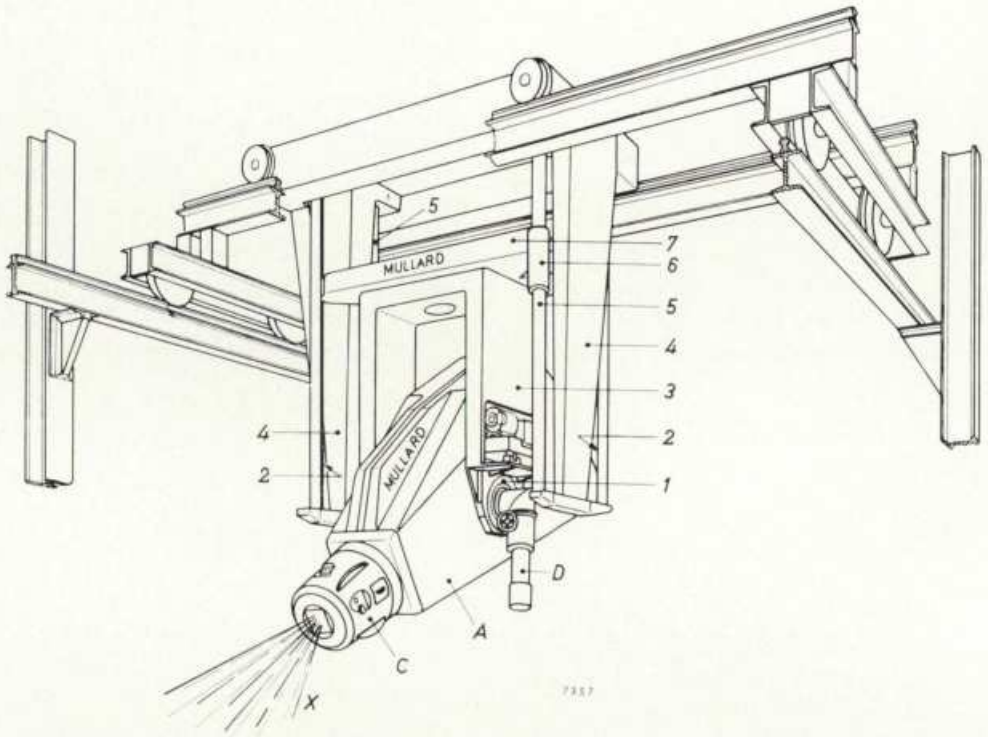


Fig. 5. Schets van de ophanging van de versneller. *X* röntgenbundel. *C* instelbare collimator die de röntgenbundel rechthoekig begrenst. *A* versneller. *D* oliediffusiepomp. *1* één der tappen waarom het versnellerhuis kan draaien. *2* draadspillen voor de beweging in vertikale richting. *3* U-freem. *4* verticale draagarmen. *5* geleiders. *6* leibus. *7* hefplateau. Voor de vijf gemotoriseerde bewegingsmogelijkheden gelden de volgende snelheden: rotaties om de horizontale en de verticale as beide 2°/s; beweging in verticale richting ca. 1,2 m/min; loopkat en loopwagen beide ca. 1,8 m/min. De collimator kan men met de hand over 360° draaien (zie fig. 7).

De vast opgestelde magnetische schakelaars voor de motoren worden voor de veiligheid bediend met een hulpspanning van 24 V. De stuurschakelaars hiervoor bevinden zich op een besturingspaneeltje, dat met een flexibele kabel aan de loopkat hangt. Om de versneller in de gewenste positie te brengen, heeft men slechts één hand nodig. Het gewicht van de loopwagen met de daarop rustende onderdelen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is ca. 3400 kg. Hiertoe draagt de röntgencollimator ca. 360 kg en het versnellerhuis met inhoud ca. 720 kg bij.

De röntgencollimator

De in de trefplaat opgewekte röntgenstralen vertonen, naarmate de energie der elektronen toeneemt, een toenemende voorkeur voor de „voorwaartse" richting. Röntgeninstallaties voor zeer harde straling hebben dan ook — anders dan gewone röntgenbuizen — een transmissietrefplaat (*fig. 6*). Deze moet zo dik zijn dat de intensiteit van de röntgenstraling maximaal is, d.w.z. dik genoeg om alle elektronen volledig af te remmen en niet zo dik dat de intensiteit weer merkbaar gaat afnemen door absorptie van de röntgenstralen in de trefplaat zelf. Omdat er toch nog een aanzienlijke straling in zijwaartse en ook in achterwaartse richtingen overblijft, is een röntgencollimator ontwikkeld die ervoor zorgt dat de stralingsintensiteit in richtingen buiten de nuttige bundel minder is dan 0,1% van de intensiteit in de bundelas.

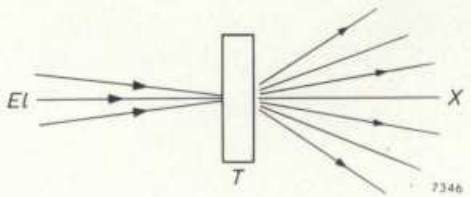


Fig. 6. Transmissietrefplaat. Als men gebruik maakt van de röntgenstraling *X* die door een trefplaat *T* wordt uitgezonden in het verlengde van een op de trefplaat vallende elektronenbundel *El*, spreekt men van een transmissietrefplaat. Hebben de elektronen een zeer grote energie, b.v. 4 MeV, dan treedt de meeste röntgenstraling in de genoemde richting uit.

Fig. 7 toont de constructie van de collimator, die in hoofdzaak gelijk is aan die waarmee de genoemde medische installaties zijn uitgerust. De trefplaat bevindt zich aan het einde van een verlengstuk van de versneller, de zg. trefplaattuit. Deze steekt een eindweegs in een vast aan de versneller bevestigd loden blok *4*. Tegen de trefplaat zelf is nog een klein cilindrisch blok *3* bevestigd van een zeer zware en daardoor goed absorberende legering van wolfraam en koper (soortelijke massa 17 g/cm³). In de blokken *3* en *4* is een kegelvormig gat aangebracht, waardoor de röntgenbundel naar buiten treedt. De door het gat gedefinieerde kegelmantel heeft op 1 m afstand van de trefplaat een diameter van 26 cm, en halverwege de trefplaat, die 3 mm dik is, een diameter van 2 mm. Het focus

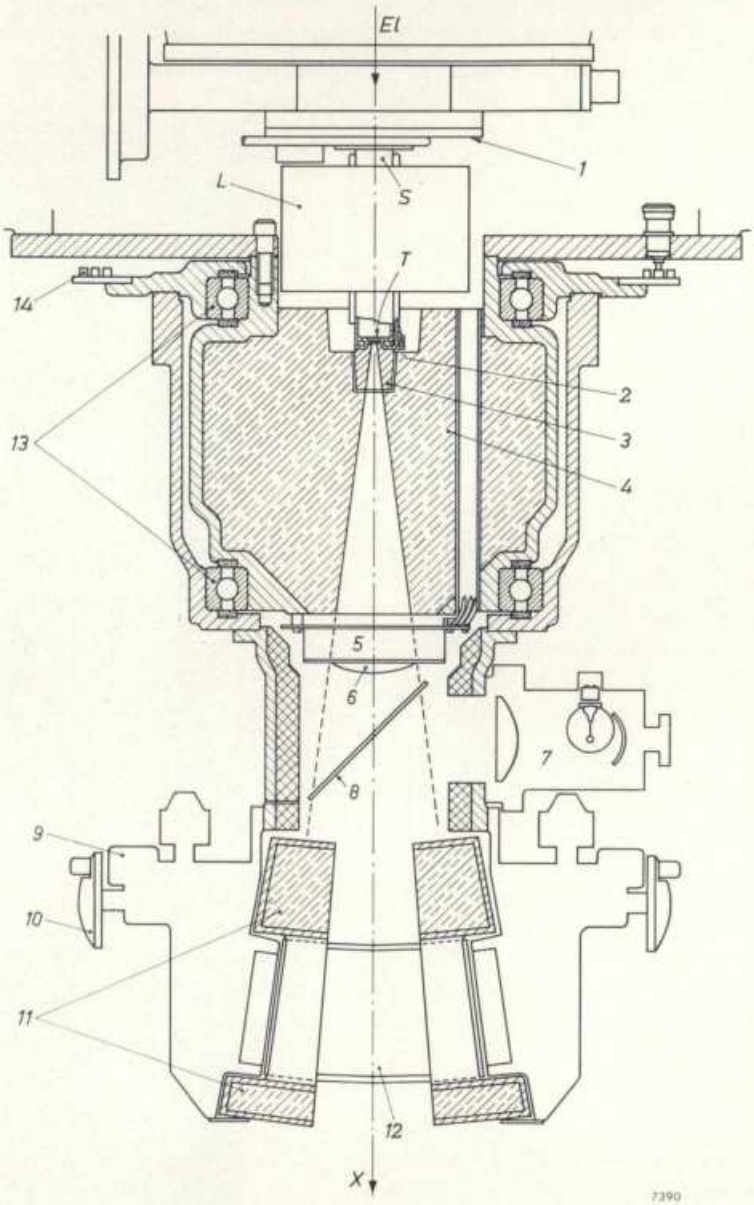


Fig. 7. Schets van de collimator voor de röntgenstralen. *El* elektronen uit de versneller. *1* eindvlak van de versnellingsbuis. *S* trefplaattuit, die aan zijn uiteinde, in de met water gekoelde koperen vatting *2*, de 3 mm dikke trefplaat *T* van wolfraam draagt. *L* systeem van twee magnetische vierpoollenzen, die de elektronen op de trefplaat focusseren (zie fig. 12). *3* blok van wolfraam-koperlegering. *4* loden collimatorblok. *5* ionisatiekamers ter controle van de geleverde straling. *6* corrigerend absorptielichaam (meestal niet gebruikt). *7* optisch systeem dat, samen met de spiegel *8*, dient om de röntgenbundel ten opzichte van het object in te stellen. *9* indicatie van de afmetingen van het veld op 1 m afstand van de trefplaat. *10* handwielen ter bediening van de loodschermen *11* en *12*, die een instelbaar rechthoekig diafragma vormen. *X* röntgenbundel. *13* kogellegers om het rechthoekige diafragma om de röntgenbundel te kunnen draaien. *14* sleepringen voor stroomtoevoer.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de elektronenbundel op de trefplaat heeft namelijk een diameter van iets minder dan 2 mm. Er zijn echter nogal wat verstrooide elektronen in de versnellingsbuis, die de trefplaat buiten het focus treffen. Om de hierdoor opgewekte röntgenstraling te absorberen en aldus de scherpte van het beeld te bewaren, is het blok *3* aangebracht.

Voor de uittree-opening van het loden blok bevinden zich drie ionisatiekamers achter elkaar. Twee hiervan leveren resp. een maat voor de doseringssnelheid en de dosis; de derde maakt deel uit van een hieronder te beschrijven inrichting voor de automatische centrering van de elektronenbundel. Onder de ionisatiekamers is ruimte voor een corrigerend absorptielichaam, waarmee men het stralingsdiagram over het bestreken veld vlak kan maken. Het is echter gebleken dat een dergelijk lichaam, dat bij medische toepassingen veel wordt gebruikt, bij materiaalonderzoek vrijwel nooit nodig is. De reden hiervoor komt nog ter sprake.

De door de blokken *3* en *4* gedefinieerde röntgenstralenkegel wordt door twee paren loodschermen verder begrensd tot een bundel met regelbare rechthoekige doorsnede. Deze schermen zijn elk in totaal 10 cm dik, bij één der paren verdeeld over twee lagen. Met handwielen kan men elk paar als de bekken van een tang draaien om een as door het focus. Doordat de binnenkanten daarbij steeds blijven samenvallen met de bundelbegrenzing, veroorzaken ze een minimale verstrooiing. Bij ieder handwiel (zie ook fig. 8) bevindt zich een indicatie in mm van de bijbehorende afmeting van het veld op 1 m afstand van de trefplaat. Dit veld is regelbaar van 3 bij 3 cm tot 15 bij 25 cm. Op grond van inmiddels verkregen ervaring is bij de nieuwere versie van de installatie het maximale veld op 1 m afstand van het focus vergroot tot 25 bij 30 cm.

Het gedeelte van de collimator dat de instelbare loodschermen bevat, is met de hand draaibaar om de bundelas, zodat men de positie van de rechthoekige bundelbegrenzing vrij kan kiezen.

Om de röntgenbundel gemakkelijk ten opzichte van het object te kunnen richten, is in de collimator een lichtbron aangebracht, die via een lens en een spiegel voor een evenwijdige lichtbundel langs de as van de röntgenbundel zorgt. Ook kan men de uitvoering zo maken dat de lichtbron zich schijnbaar ter plaatse van het focus bevindt. De lichtbundel verlicht dan exact het door de röntgenbundel getroffen veld. Bij een normaal verlichtingsniveau in het vertrek werkt dit systeem echter slechts goed bij kleine afstanden tussen focus en object, tenzij men b.v. gebruik maakt van kleefband met gerichte reflexie, dat men op het object bevestigt.

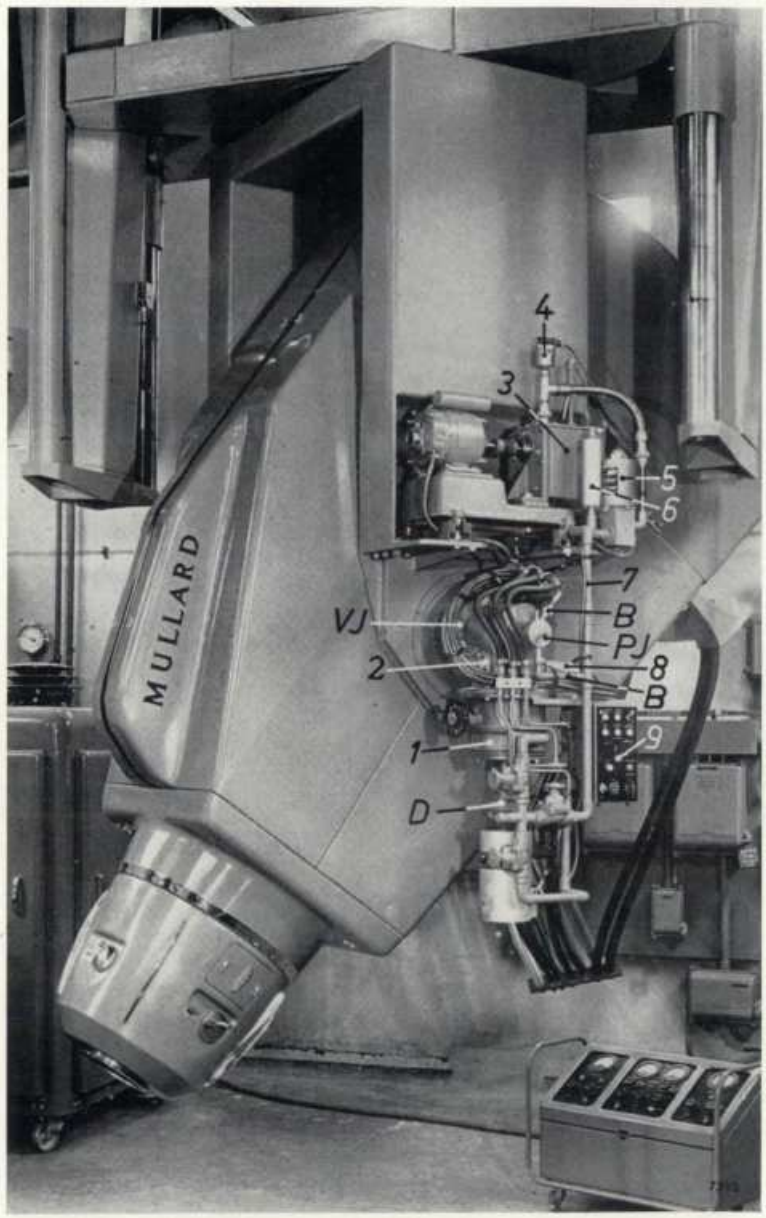


Fig. 8. De vacuümpompinstallatie. *D* oliediffusiepomp. *1* afsluiter-olievanger. *2* ionisatiemanometer voor de meting van het hoogvacuüm. *VJ* draaibare koppeling (zie fig. 10) in de vacuümleiding, welke koppeling het mogelijk maakt dat de pomp steeds in de verticale stand blijft. *3* voorvacuümpomp. *4* en *5* magnetisch bediende beveiligingskranen. *6* piranimanometer voor de meting van het voorvacuüm. *7* starre verbinding tussen *D* en *3*. *B* voorvacuümleiding naar het elektronenkanon. *PJ* draaibare koppeling in *B* (zie fig. 10). *8* penningmanometer ter bediening van een beveiligingssysteem. *9* bedieningspaneel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het vacuümsysteem

Het vacuüm in de versnellingsbuis (druk ca. 3×10^{-6} mm Hg) wordt onderhouden door voortdurend pompen met een oliediffusiepomp (*fig. 8*), die een inlaatdiameter van 10 cm heeft, en die gecombineerd is met een afsluiter-olievanger. De pompsnelheid boven deze afsluiter is 150 l/s. Een roterende voorpomp is gemonteerd tegen het U-freem van de ophanginrichting. Een aan dit freem bevestigde vork (zichtbaar in *fig. 9*) grijpt om een pen die aan de afsluiter-olievanger vastzit, en houdt daardoor de diffusiepomp verticaal als de versneller om zijn horizontale as gedraaid wordt. Om dit draaien mogelijk te maken, is in de vacuümleiding (diameter 15 cm) een draaibare koppeling opgenomen. De constructie hiervan is toegelicht in *fig. 10*. Dergelijke koppelingen zijn met succes toegepast in leidingen tot 20 cm diameter in installaties met lineaire versnellers voor medische doeleinden. Voorpomp en diffusiepomp behoeven niet ten opzichte van elkaar te bewegen, en de verbinding ertussen is dan ook star uitgevoerd. Er is echter nog een tweede, kleine, draaibare koppeling, die zich bevindt in een aftakking *B* van de voorvacuümleiding, welke aftakking naar het elektronenkanon van de versneller voert. Deze aftakking wordt gebruikt als de katode van dit kanon moet worden vervangen, zoals nog zal worden besproken. Ook van deze koppeling is de constructie zichtbaar in fig. 10.

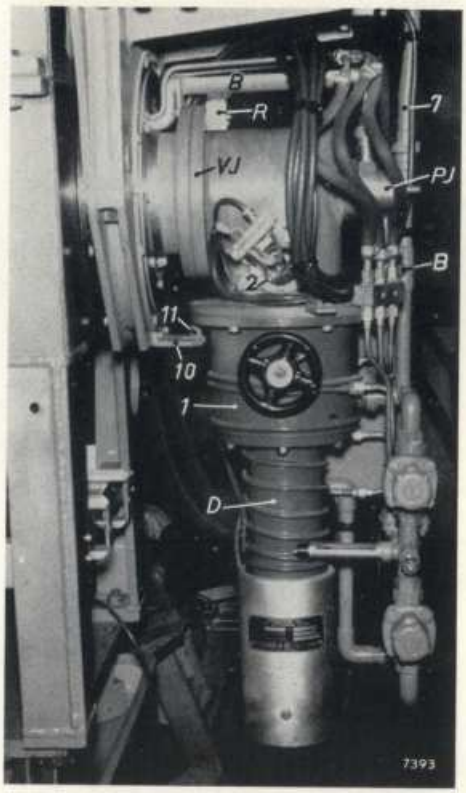


Fig. 9. Detail van de vacuümpompinstallatie. Hier zijn de vork *10* en de pen *11* zichtbaar die de diffusiepomp in verticale stand houden als de versneller om een horizontale as gedraaid wordt. *R* is een reservoir met vacuümolie voor de draaibare koppeling *VJ* (vgl. fig. 10). Betekenis der letters en cijfers verder als in fig. 8.

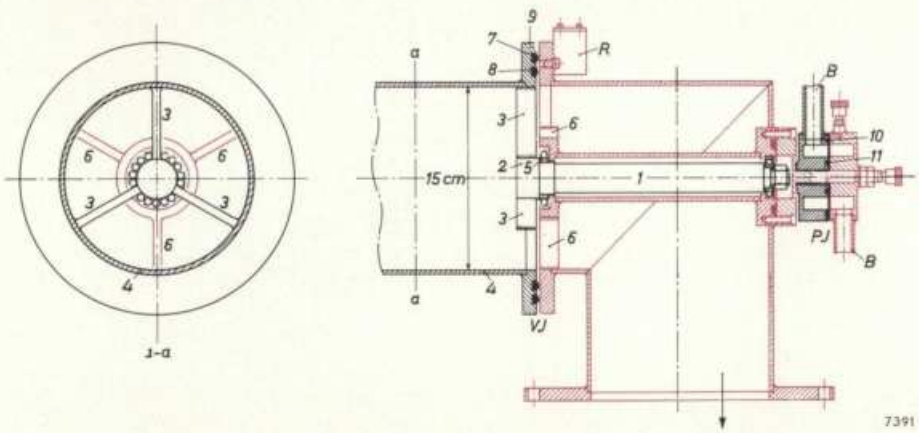


Fig. 10. Constructie van de draaibare koppelingen *VJ* en *PJ* in resp. de hoogvacuümleiding van 15 cm doorsnede en in de voorvacuümleiding *B* (vgl. fig. 8 en 9). Als de versneller om zijn horizontale as gedraaid wordt, draait het hiermee star verbonden zwart getekende gedeelte ten opzichte van het rood getekende kniestuk (waar de oliediffusiepomp aan hangt) en het andere rood getekende gedeelte, dat door leidingen star met het kniestuk verbonden is. Het verdikte gedeelte *2* van de as *1* is met spaken *3* bevestigd in het gedeelte *4* van de hoogvacuümleiding. De ondersteuning van het kogelleger *5* is met spaken *6* in het kniestuk bevestigd. In de hoogvacuümkoppeling *VJ* zorgen twee concentrische O-ringen *7* en *8*, met vacuümolie ertussen, voor de afdichting. Deze ringen dragen op de gepolijste en verchroomde flens *9* van het kniestuk. De kracht waarmee de ringen worden aangedrukt, wordt geregeld door middel van opvulringen bij de kogellegers. *R* is een reservoir met vacuümolie.

Bij de koppeling *PJ* in de voorvacuümleiding *B* wordt voor de afdichting gezorgd door de met vet gesmeerde O-ringen *10* en *11*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Magnetisch bediende kranen beveiligen de diffusiepomp tegen het uitvallen van de netspanning. Het voorvacuüm wordt gemeten met een piranimanometer, het hoogvacuüm met een ionisatiemanometer. In het hoogvacuümgedeelte is bovendien een penningmanometer opgenomen voor de bediening van een relaisschakeling die een veiligheidssysteem in werking stelt als de druk te hoog oploopt. De bedieningsorganen en de afleesinstrumenten voor deze drie vacuümmeters zijn ondergebracht in een wagentje (fig. 1), dat door een lange flexibele kabel met de manometers is verbonden. Een en ander is in hoofdzaak gelijk aan de uitvoering bij de lineaire versneller voor 15 MeV die vroeger in dit tijdschrift is beschreven [3]).

Bundelfocussering en trefplaat

Fig. 11 geeft de verdeling van de elektronen in de door de versneller geleverde, vrijwel evenwijdige

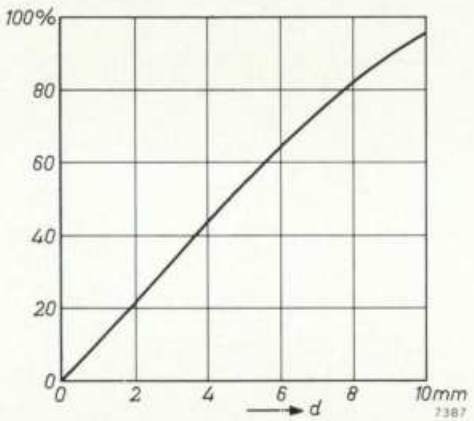


Fig. 11. Percentage van de elektronen in de bundel dat op de trefplaat valt binnen een cirkel met diameter *d*.

bundel. Men ziet dat meer dan 90% ervan binnen een cirkel met één cm diameter op de trefplaat valt. Er zijn verscheidene toepassingen van de versneller waarbij deze grote bundeldoorsnede geen bezwaar is, b.v. als de versneller deel uitmaakt van een neutronengenerator, of als men de elektronenbundel zelf voor bestraling gebruikt. In het laatste geval is een sterke concentratie van de bundel zelfs ongewenst wegens de zware plaatselijke belasting van het uittreevenster, die de constructie van dit venster onnodig bemoeilijkt. Voor röntgenstralen echter is een kleiner focus gewenst. Bij medische installaties voor röntgentherapie wenst men een focus dat niet groter is dan 5 mm. Halfschaduwen zijn dan zover beperkt dat de patiënt hierdoor geen schadelijke dosis straling extra ontvangt. Voor materiaalonderzoek moet men het focus zelfs nog kleiner kiezen, nl. niet groter dan 2 mm, zodat de uitgebreidheid ervan geen grotere onscherpte in de foto's teweegbrengt dan andere bronnen van onscherpte. Een focus van 5 mm kan men realiseren met behulp van geschikte absorberende materialen, die men zowel in de elektronenbundel zelf als in de röntgenbundel kan plaatsen. Dat men hierdoor ca. 40% van de opgewekte röntgenstraling opoffert (zie fig. 11), wordt niet als een ernstig bezwaar gevoeld, daar het restant toch nog zo groot is, dat voor de gebruikelijke therapeutische doses de bestralingstijden zeer kort zijn. Reduceerde men echter volgens deze methode het focus tot 2 mm, dan zou men, zoals uit fig. 11 blijkt, 80% van de straling opofferen. Voor materiaalonderzoek, waarbij men veelal juist kampt met lange belichtingstijden, is dit ontoelaatbaar.

Daarom zijn op de trefplaat magnetische focusseerlenzen aangebracht. Omdat slechts weinig ruimte beschikbaar was, is gebruik gemaakt van een systeem van twee magnetische vierpoollenzen (*fig. 12*). Zo'n systeem, dat in 1952 voor het eerst is beschreven door Courant e.a. [5]), vraagt minder plaatsruimte en vermogen dan een conventionele rotatiesymmetrische magnetische lens.

De werking van de lenzen is op verschillende manieren onderzocht, waarbij het geenszins een-

Fig. 12. Magnetische vierpoollenzen op de trefplaattuit van de versnellingsbuis. Men ziet de vier polen van de voorste lens. De tweede lens bevindt zich hier vlak achter.

[5]) E. D. Courant, M. S. Livingston en H. S. Snyder, The strong focusing synchrotron. A new high energy accelerator, Phys. Rev. **88**, 1190-1196, 1952; zie ook: R. M. Sternheimer, Double focusing of charged particles by a system of two magnets with non-uniform fields, Rev. sci. Instr. **24**, 573-585, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voudig is gebleken de verdeling van de dichtheid van de elektronenstroom in de bundel ter plaatse van het focus nauwkeurig te bepalen. We hebben in de eerste plaats gebruik gemaakt van de in *fig. 13* geschetste calorimetrische meetinrichting, die een verdere ontwikkeling is van de reeds door Bareford en Kelliher gebruikte inrichting [3]). Hiermee hebben we gemeten dat bij gebruik van een koperschijf met een gat van 2 mm diameter, 90% van het bundelvermogen in de eindcalorimeter gedissipeerd wordt. Zeer waarschijnlijk is het percentage elektronen dat binnen een diameter van

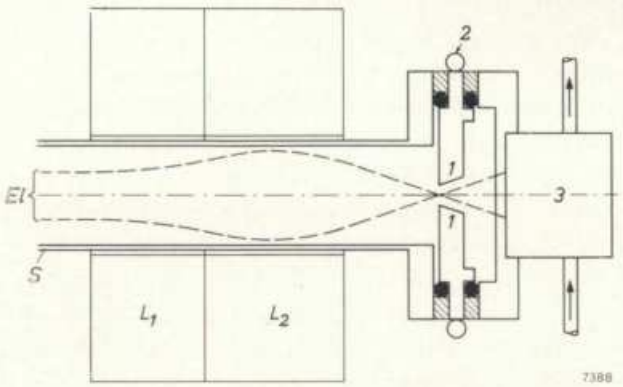


Fig. 13. Inrichting om langs calorimetrische weg te bepalen welk percentage van de elektronen *El* door de op de trefplaat tuit *S* gemonteerde magnetische vierpoollenzen L_1 en L_2 binnen een cirkel van 2 mm diameter op de trefplaat geconcentreerd wordt. De koperplaat *1*, voorzien van een gat van 2 mm diameter, is, voor warmte geïsoleerd, gemonteerd op de plaats van de trefplaat. Uit de temperatuurstijgingen van water dat door de koelspiraal *2* vloeit en van water dat door de eindcalorimeter *3* vloeit, kan men het gezochte percentage afleiden. O-ringen zorgen voor de vacuümafdichting.

2 mm geconcentreerd is, groter dan 90% (wij schatten het op ca. 95%), aangezien hierbij elektronen zijn die na reflexie toch nog een gedeelte van hun energie aan de koperschijf afgeven.

In de tweede plaats zijn grootte en vorm van het focus onderzocht door ter plaatse van het focus een stuk fotografisch papier aan te brengen. Hieruit is gebleken dat het focus elliptisch is, en zeker niet groter dan 2 bij 1 mm.

In de derde plaats is een schatting van de focusafmetingen verkregen door middel van een gouden trefplaat. Nadat deze gedurende ca. 1,5 uur aan de inwerking van de elektronenbundel was blootgesteld, was er een holte van enige mm diepte ingebrand (*fig. 14*). Uit de contourlijn op een diepte van 2 mm is gebleken dat de afmetingen van het focus 1,5 bij 0,5 mm bedragen. (De in fig. 14 zichtbare grotere afmetingen aan het oppervlak zijn het gevolg van een aanvankelijk verkeerde instelling van de vierpoollenzen.)

Fig. 14. Inwerking van de gefocusseerde elektronenbundel op een gouden trefplaat, die gedurende ca. 1,5 uur werd gebruikt.

De polen van een magnetische vierpoollens zijn afwisselend noord en zuid, zodat tegenover elkaar gelijknamige polen staan. Het lichtoptische equivalent ervan blijkt een samenstel te zijn van twee gekruist tegen elkaar geplaatste cilinderlenzen met gelijke brandpuntsafstand, de ene positief, de andere negatief. De twee vierpoollenzen zijn 90° ten opzichte van elkaar gedraaid, zodat *fig. 15* het lichtoptische equivalent van het gehele systeem voorstelt. Lichtstralen die evenwijdig zijn met de as, en gelegen in het verticale symmetrievlak, zoals l', ondervinden dus eerst een convergerende en daarna een divergerende werking. Voor stralen in het horizontale symmetrievlak, zoals l'', is het net omgekeerd. De stralen l' en l'' stellen tevens de projectie op de symmetrievlakken voor van de straal l.

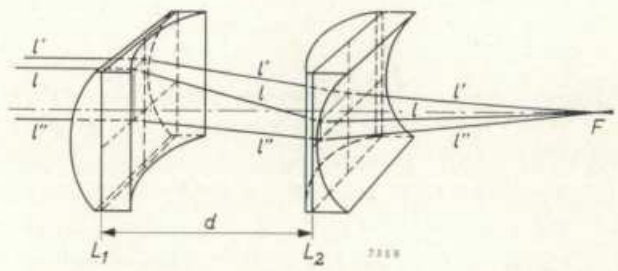


Fig 15 Het lichtoptische equivalent van de twee magnetische vierpoollenzen. Elk der lenzen komt overeen met een positieve en een negatieve cilinderlens met dezelfde brandpuntsafstanden, die gekruist tegen elkaar zijn geplaatst. Een lichtbundel die evenwijdig met de as invalt, wordt in één punt *F* geconcentreerd, mits voldaan is aan een zekere, in de tekst genoemde voorwaarde tussen de met L_1 en L_2 geassocieerde brandpuntsafstanden en de afstand *d*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Ook het verloop van zo'n willekeurige straal l evenwijdig met de as kan men zich dus gemakkelijk voorstellen. Door de elementaire lenzenformule toe te passen voor elk der beide symmetrievlakken, kan men eenvoudig afleiden dat de stralen l' en l'' de as in hetzelfde punt F snijden — d.w.z. dat de brandpunten voor de twee symmetrievlakken samenvallen — indien voldaan is aan:

$$f_1^2 - f_1 f_2 = d^2.$$

Hierin zijn f_1 en f_2 de brandpuntsafstanden behorende bij resp. de lenzen L_1 en L_2, en d is de afstand tussen L_1 en L_2. Ook een willekeurige straal evenwijdig met de as zal nu door F gaan, zodat de bundel in F geconcentreerd wordt.

Door de voorwaarde voor samenvallende brandpunten zijn de drie grootheden f_1, f_2 en d nog niet geheel vastgelegd. Men heeft in het ontwerp nog een zekere vrijheid, die in ons geval gebruikt is om het lenzensysteem in te passen in de kleine beschikbare cilindrische ruimte van 15 cm diameter en 15 cm lengte.

Om het brandpunt F precies in de trefplaat te laten vallen, is het nodig de sterkten der lenzen enigszins regelbaar te maken, bij welke regeling aan de voorwaarde voor samenvallende brandpunten voldaan moet blijven. Dit is bereikt door de stromen in de twee lenzen te regelen met twee geschikt gekoppelde potentiometers.

Ook als de beide brandpunten samenvallen, levert het systeem van fig. 15 slechts een vervormde afbeelding doordat de vergroting in het verticale vlak verschilt van die in het horizontale. Is de invallende bundel exact evenwijdig, dan merkt men hiervan niets, maar in ons geval bevat de bundel elektronenbanen die hoeken tot ca. 0,005 rad met de as maken. Daardoor krijgt het focus een elliptische vorm. Ook de spreiding van ca. $\pm 0{,}25$ MeV in de energie der elektronen draagt hiertoe bij (chromatische aberratie). Uit een theoretische schatting van de invloed van verschillende factoren op de scherpte van het focus volgt dat de twee genoemde het belangrijkst zijn, en dat men mag verwachten dat het focus niet groter zal zijn dan 2 bij 1 mm. In werkelijkheid zijn, zoals uit de proef met de gouden trefplaat is gebleken, de afmetingen 1,5 bij 0,5 mm.

Uit fig. 14 blijkt duidelijk dat goud, dat wegens zijn gemakkelijke soldeerbaarheid en goede warmtegeleiding veelvuldig als trefplaatmateriaal toepassing vindt, de zware specifieke belasting van meer dan 1000 W/mm² (850 W op het focus van 1,5 bij 0,5 mm) niet kan verdragen. Wij gebruiken dan ook als trefplaat een schijf wolfraam van 5 mm diameter en 3 mm dik. Deze schijf is opgenomen in een koperen blok, dat een ringvormig kanaal voor waterkoeling bevat, zo dicht bij het wolfraam als mechanisch mogelijk is. Aan de zijde waar de röntgenstralen uittreden, is een wandje van ruim 0,1 mm koper intact gelaten om de vacuümdichtheid te verzekeren. De wolfraamschijf kan namelijk wel eens poreus zijn.

Een continue belasting van 1000 W/mm² van het focus is enige keren groter dan wat bij normale röntgenbuizen voorkomt. Dat deze belasting niettemin toelaatbaar is, komt doordat, bij de grote energie van de elektronen, deze energie niet uitsluitend aan het oppervlak, maar ook in de diepte gedissipeerd wordt.

Het is gebleken dat de plaats van het focus op de trefplaat enigszins afhangt van de omstandigheden, b.v. van de bundelstroom en van het hoogfrequentievermogen. Daar het noodzakelijk is dat het focus zich precies achter de opening in het collimatorblok *3* (fig. 7) bevindt, is in de collimator een ionisatiekamer opgenomen die in vier kwadranten is verdeeld. Ieder kwadrant levert zijn eigen stroom, en deze stromen regelen via versterkers de bekrachtigingsstromen van een tweetal gekruist opgestelde afbuigspoelen, die de elektronenbundel op de juiste plaats gericht houden.

Intensiteit van de röntgenstraling

Aan de gemiddelde intensiteit van de met een gegeven lineaire versneller opgewekte röntgenstraling wordt een grens gesteld door de maximaal toelaatbare werkfractie (Engels: duty cycle) van de in impulsen werkende hoogfrequentiegenerator. De intensiteit is evenredig met de herhalingsfrequentie der impulsen. Bij het magnetron VX 4061, dat in de hier beschreven installatie dienst doet als bron van hoogfrequentie-energie (2999,5 MHz), is de maximale werkfractie 0,001, en aangezien de impulsduur 2 μs bedraagt, is de maximale herhalingsfrequentie 500 per seconde. Door inschakelverschijnselen is voor de versneller de effectieve impulsduur 1,8 μs. De herhalingsfrequentie kan worden ingesteld op 100, 200, 300, 400 en 500 per seconde. Een fijnere regeling van de intensiteit is mogelijk door instelling van de gloeistroom van het elektronenkanon; deze wordt in de praktijk alleen gebruikt om bij een gekozen herhalingsfrequentie op maximale intensiteit in te stellen.

In de regel karakteriseert men een installatie door middel van de doseringssnelheid in r/min (röntgen per minuut) in de bundelas op 1 m afstand van de trefplaat. Deze grootheid is namelijk gemakkelijker te meten dan de intensiteit (eenheid watt/cm²). Voor de hier beschreven installatie bedraagt de genoemde doseringssnelheid 750 r/min als geen magnetische vierpoollenzen worden gebruikt. Bij inschakeling van deze lenzen wordt dit getal 20% gereduceerd, nl. tot 600 r/min. Dit betekent geenszins dat ook de totale van het focus uitgaande röntgenstraling met dit percentage is verminderd. Doordat bij gebruik van de lenzen de elektronenbundel convergerend op de trefplaat valt, is namelijk de röntgenbundel sterker divergerend geworden. Dit is gunstig, want de beschikbare straling wordt nu gelijkmatiger over het bestraalde veld verdeeld (*fig. 16*). Het is dan ook vrijwel nooit nodig een speciaal corrigerend absorptielichaam (*6* in fig. 7) in de röntgenbundel te plaatsen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In fig. 15 ziet men dat in de twee onderling loodrechte symmetrievlakken van het lenzensysteem de stralen met verschillende convergentie in het brandpunt samenkomen. Uit fig. 16 blijkt dat dit verschil ook in de verdeling van de doseringssnelheid tot uiting komt.

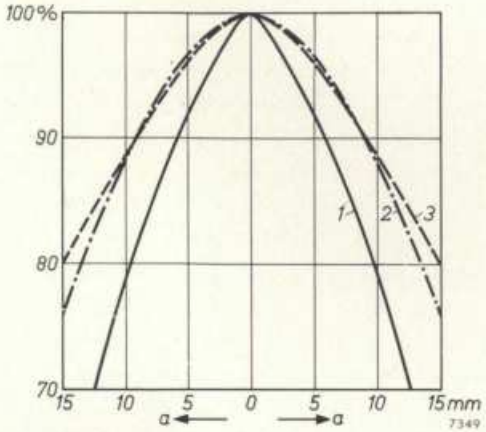


Fig. 16. Relatieve intensiteit van de röntgenstraling in een vlak loodrecht op de bundelas op 1 m afstand van de trefplaat als functie van de afstand a tot deze as. Van de röntgencollimator was alleen het blok van wolfraam-koperlegering (*3* in fig. 7) aangebracht. Kromme *1*: zonder focussering van de elektronenbundel. Krommen *2* en *3*: met focussering, en gemeten in twee onderling loodrechte richtingen, liggende in de twee symmetrievlakken van de focusseerlens. Dat de krommen *2* en *3* verschillen, komt doordat de elektronenbundels in de twee symmetrievlakken niet in dezelfde mate convergeren (vgl. fig. 15).

Prestaties

Fig. 17 geeft een indruk van de afmetingen der fouten die men in het doorstraalde materiaal kan waarnemen met de hier beschreven installatie. De figuur geldt bij gebruik van de filmsoort „Ilford" Industrial C. De resultaten komen gemiddeld vrijwel overeen met die welke door Möller en Weeber zijn verkregen met bètatrons [6]). In een wand van 30 cm dikte kan men fouten van 0,9 mm ontdekken. De door de lineaire versneller geleverde röntgenintensiteit is echter zo groot dat men hierbij ook profijt kan trekken van het grote scheidende vermogen van langzame ultrafijnkorrelige films, zonder in oneconomisch lange belichtingstijden te vervallen. De waarneembaarheid wordt dan nog vergroot [7]). Gegevens over de belichtingstijden voor de ultrafijnkorrelige film „Ilford" Industrial F, die 0,7 × zo snel is als de Industrial C, zijn in fig. 2 vermeld. De tijden gelden als men loden versterkfoelies van 0,25 mm en 0,1 mm dikte resp. tegen achter- en voorkant van de film plaatst. Deze combinatie levert, door de uit het lood vrijgemaakte elektronen, een twee- à drievoudige versterking. Versterkfoelies bestaande uit fluorescerende zouten zijn niet geschikt voor de harde straling die de versneller levert.

„Ilford" F-film is ook gunstig doordat zich geen complicaties voordoen bij het ontwikkelen. Bij sommige filmsoorten moet men het ontwikkelprocédé zorgvuldig vaststellen om te vermijden dat de foto's de vlekkerigheid vertonen die men zo dikwijls ziet bij gebruik van straling van grote quantumenergie. Om optimale resultaten te verkrijgen, moet men er tevens rekening mee houden dat de wijze van ontwikkelen invloed heeft op de verhouding van de belichtingsdoses die gelijke zwarting opleveren bij films van verschillende soort. Zo is gebleken dat voor de filmsoorten „Ilford" C, „Ilford" F en „Kodak" M deze verhouding 1,0:1,75:6,0 is bij 5 minuten ontwikkelen bij 20 °C in de ontwikkelaar ID 19, maar 1,0 : 1,5 : 3,9 bij 8 minuten ontwikkelen bij 20 °C in een contrastbevorderende ontwikkelaar zoals PQX 1. Neemt men nog in aanmerking dat een contrastbevorderende ontwikkelaar gewoonlijk een betere waarneembaarheid oplevert, dan krijgt men een idee van de voetangels en klemmen waarvoor men moet oppassen als men waarneembaarheidsmetingen van verschillende onderzoekers wil vergelijken.

Daar de lineaire versneller met zeer korte impulsen werkt (1,8 μs), is hij van nature geschikt voor het maken van stroboscopische röntgenopnamen, b.v. van een verbrandingsmotor [8]). Hiertoe is het

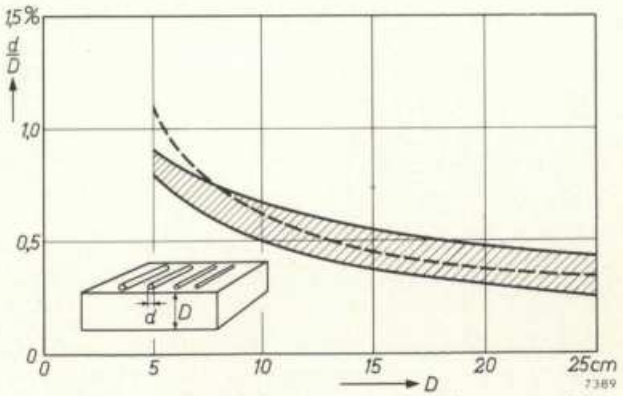


Fig. 17. Waarneembaarheid van dunne draadjes op een blok staal (penetrameterproef) bij de beschreven installatie (gearceerde gebied). Uitgezet is de procentuele dikte (d/D) van het dunste nog waarneembare draadje als functie van de dikte D van het staal. Gebruikte film: „Ilford" Industrial C. De gestippelde kromme heeft betrekking op proeven met bètatrons door Möller en Weeber [6]).

[6]) H. Möller en H. Weeber, Versuche über die Leistung eines 5-MeV-Linearbeschleunigers bei der Durchstrahlung von Stahl, Arch. Eisenhüttenw. **32**, 107-112, 1961 (no. 2), speciaal fig. 3 van dit artikel. De in deze figuur gereproduceerde penetrameterkromme voor onze installatie wijkt af van de onze doordat zij gebaseerd is op niet-representatieve opnamen. Zie ook: H. Möller, W. Grimm en H. Weeber, Versuche über die Leistung eines 31-MeV-Betatrons bei der Durchstrahlung von Stahl, Arch. Eisenhüttenw. **25**, 279-291, 1954.

[7]) De winst in waarneembaarheid bedraagt resp. ca. twee draden en één draad bij de genormaliseerde penetrameterproeven DIN Fe 2 en DIN Fe 3.

[8]) Stroboscopische opnamen van een draaiende verbrandingsmotor, gemaakt met de hier besproken installatie, zijn besproken door B. J. Vincent, Brit. J. appl. Phys. **11** 132-135, 1960 (no. 3).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

mogelijk gemaakt de modulator door een uitwendige bron te besturen, zodat men de herhalingsfrequentie kan laten regelen door een draaiend of een heen-en-weergaand mechanisme. Een snelheid van 100 m/s van het gefotografeerde voorwerp ten opzichte van de film veroorzaakt een onscherpte van ca. 0,1 mm op de film.

Thans volgen enige bijzonderheden over de apparatuur voor het versnellen van de elektronen.

De modulator

De modulator, die spanningsimpulsen van 50 kV met een duur van 2 μs levert aan het magnetron en tegelijkertijd aan het elektronenkanon van de versneller, is te zien in fig. 1. Het apparaat werkt volgens dezelfde principes als de voedingsapparaten van magnetrons voor radarzenders [9]). De herhalingsfrequentie is, zoals reeds vermeld, in stappen regelbaar van 100 tot 500 per seconde. Omdat de versneller verrijdbaar is opgesteld, is de modulator door een flexibele, met polytheen geïsoleerde coaxiale kabel van 2,5 cm diameter met de versneller verbonden. Vergeleken met de modulator die reeds in 1953 in dit tijdschrift is besproken [3]), zijn slechts twee belangrijke wijzigingen aangebracht. De eerste is dat de uitgangsimpulstransformator, die de spanning een factor 5 omhoogtransformeert, niet in de modulatorkast is gemonteerd, maar op het versnellerfreem, naast het magnetron. Het voordeel hiervan is dat de kabel tussen modulator en versneller niet voor 50 kV doch slechts voor 10 kV geïsoleerd behoeft te zijn. Bovendien heeft men de door de lange kabel geïntroduceerde extracapaciteit liever aan de ingangs- dan aan de uitgangszijde van de transformator. De tweede wijziging is dat er profijt van is getrokken dat er thans waterstofthyratrons beschikbaar zijn van zo groot vermogen dat zij het oorspronkelijk als schakelbuis gebruikte ignitron konden vervangen. Zoals reeds in het aangehaalde artikel [3]) is opgemerkt, zijn normale ignitrons niet goed geschikt voor een herhalingsfrequentie van 500 per seconde. De ontioniseringstijd is daarvoor te lang, waardoor ionenbombardementen optreden die de levensduur tot een fractie van de normale verkorten. Soms bedroeg deze levensduur minder dan 100 uur. Het nu gebruikte waterstofthyratron CX 1119 heeft een levensduur van meer dan 1000 uur. Een bijkomend voordeel is dat het thyratron een geringere fluctuatie in het ontsteekmoment („jitter") vertoont dan het ignitron. Dit is van belang als men de installatie voor stroboscopische röntgenopnamen wil gebruiken.

Het elektronenkanon

De te versnellen elektronen worden geleverd door een elektronenkanon, waarvan *fig. 18* een schets

[9]) Zie b.v. Philips techn. T. **18**, 377, 1956.

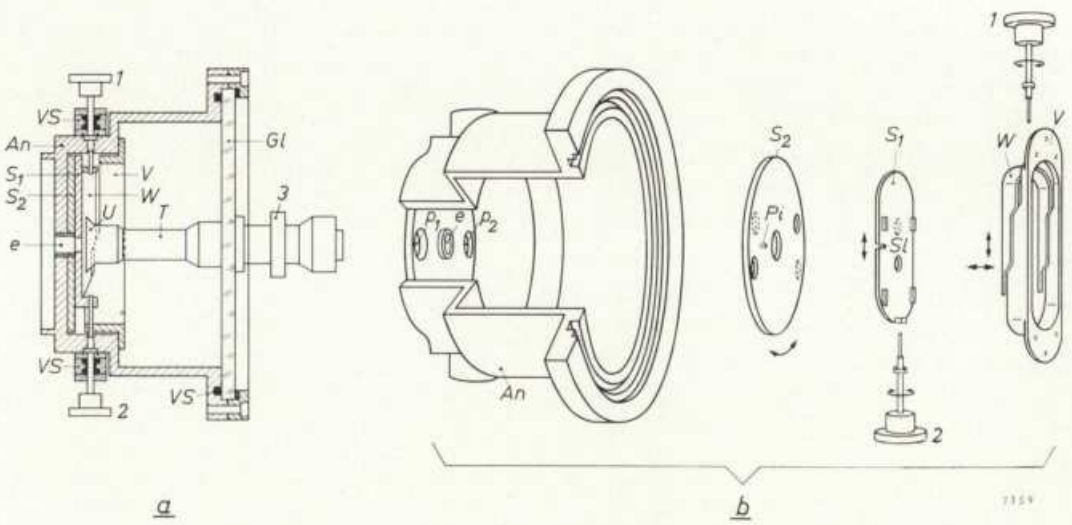


Fig. 18. *a*) Constructie en *b*) „exploded view" van de vacuümafsluiter tussen het elektronenkanon en de versnellingsbuis. *U* focusseerelektrode die de elektronen, geleverd door de in *T* ondergebrachte katode, door het in de anode *An* aangebrachte gat *e* stuurt. p_1 en p_2 (*b*) zijn extragaten voor het pompen. Om *e*, p_1 en p_2 te sluiten, draait men met knop *1* de wig *W* los. Met *2* verschuift men vervolgens de sluitplaat S_1, die dan de sluitplaat S_2 draait door middel van de pen *Pi* en de sleuf *Sl*(*b*). Vervolgens klemt men met *1* de sluitplaten weer vast. De vacuümafdichting geschiedt door (niet-getekende) O-ringen. *V* brugstuk voor het klemmen van *W*. De glasplaat *Gl* draagt de katode en isoleert deze van de (geaarde) anode. *3* knop voor het demonteren van de katode. Bij *1*, *2* en *Gl* zijn vacuümafdichtingen *VS* aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

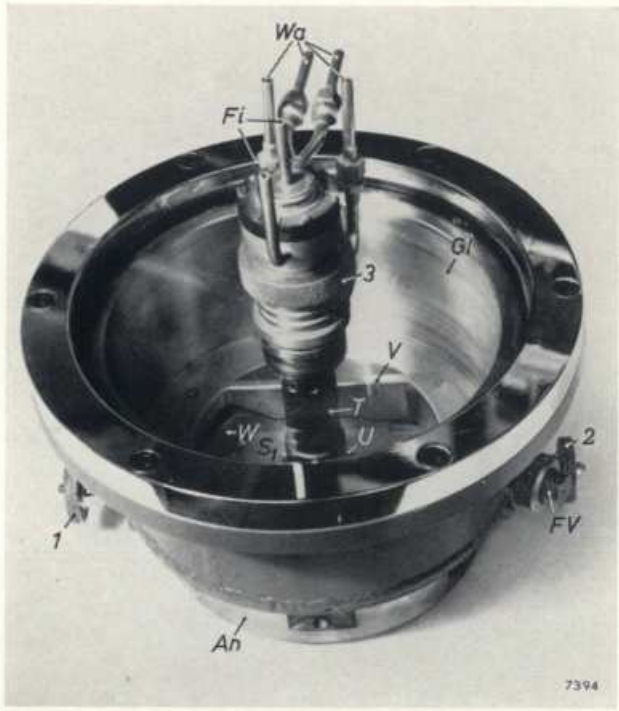


Fig. 19. Het elektronenkanon. *Fi* aansluitingen van de katode. *Wa* aansluitingen voor waterkoeling. *FV* aansluiting voor de voorvacuümleiding. Betekenis der overige letters en cijfers als in fig. 18.

en *fig. 19* een foto is. De anode is geaard, evenals de versnellingsbuis en het bijbehorende golfpijpsysteem. De direct verhitte katode — een vlakke spiraal van wolfraamdraad van 0,3 mm dikte (*fig. 20*) — ontvangt van de modulator dezelfde negatieve spanningsimpulsen van 50 kV als het magnetron. De elektronen krijgen hierdoor een snelheid van ca. 0,4× de lichtsnelheid. Een focusserende elektrode *U* zorgt ervoor dat de elektronen via een gat in de anode in de versnellingsbuis gestuurd worden.

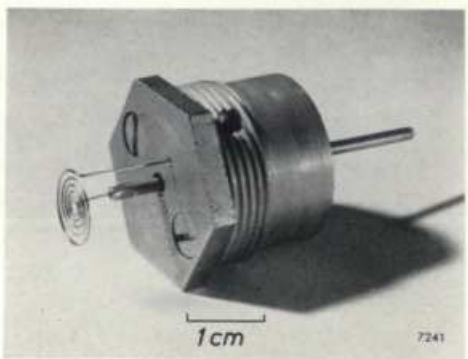


Fig. 20. Katodehouder met direct verhitte katode voor het elektronenkanon. Als de katode vernieuwd moet worden, vervangt men het gehele afgebeelde onderdeel. De nieuwe katode komt bij het inzetten van de houder automatisch in de juiste positie.

Het ogenblik waarop de katode bezwijkt, komt onverwachts; gewoonlijk dus gedurende een opname. Om te vermijden dat men, om de katode te kunnen vervangen, de hele versneller met lucht moet laten vollopen — waarna het geruime tijd zou duren aleer het vacuüm hersteld was — is tussen het elektronenkanon en de eigenlijke versnellingsbuis een vacuümafsluiter aangebracht. De constructie hiervan (zie fig. 18) is in vergelijking met de vroegere uitvoering [3]) vereenvoudigd. Nadat men de afsluiter heeft gesloten, laat men met een ventiel lucht toe in de katoderuimte. Door de kartelmoer *3* los te draaien, kan men daarna katodehouder en katode — het in fig. 20 afgebeelde onderdeel dus — vervangen. Bij het aanschroeven van de kartelmoer wordt de katode automatisch gecentreerd. Nu wordt, door middel van de op blz. 315 genoemde speciale aftakking van de voorvacuümleiding, de katoderuimte op voorvacuüm gebracht. Brengt men vervolgens de verbinding met het hoogvacuüm opnieuw tot stand, dan wordt dit hoogvacuüm nauwelijks verstoord. Voor vervanging van de katode behoeft de werking van de versneller nog geen vijf minuten onderbroken te worden.

De gloeistroom voor de katode wordt geleverd door een nettransformator (zichtbaar in fig. 22) met een secundaire wikkeling waarvan de isolatie 50 kV tegen aarde kan weerstaan, terwijl tevens de capaciteit van deze wikkeling tegen aarde zeer gering is (15 pF). Deze capaciteit moet klein zijn om de stijgtijd van de impulsen gering te houden. De katodetemperatuur, en daarmee de bundelstroom, stelt men in met een regeltransformator in de primaire keten van de gloeistroomtransformator. Deze regeltransformator bevindt zich op de bedieningslessenaar.

Het rechthoekige-golfpijpsysteem

Fig. 21 is het schema van de versneller [10]). Van de energiestroom die de versnellingsbuis ingaat, komt een gedeelte ten goede aan de elektronen, een gedeelte wordt als warmte in de wanden van de versnellingsbuis gedissipeerd, terwijl de rest via een terugkoppelvork *RR* naar het begin van de versnellingsbuis teruggevoerd wordt. In ons geval is deze rest 50 %. In de terugkoppelvork zorgt het magnetron voor aanvulling tot 100 % (terugkoppelverhouding 1 : 1). In *fig. 22* is te zien dat voor het geleiden van de hoogfrequentie-energie

[10]) Het principe van de lineaire versneller en verschillende details zijn besproken in D. W. Fry, De lineaire elektronenversneller, Philips techn. T. **14**, 225-237, 1952. Voor een recent overzichtsartikel zie: L. Smith, Linear accelerators, Handbuch der Physik **44**, 341-389, Springer, Berlijn 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een systeem van rechthoekige golfpijpen is aangebracht.

De terugkoppelvork en de golfpijpen die deze met het magnetron en met de versnellingsbuis verbinden, zijn gevuld met lucht van drie atmosfeer. Een druk van één atmosfeer is namelijk ongunstig er toentertijd geen geschikte golfpijpvensters beschikbaar waren om het gedeelte onder druk te scheiden van het vacuüm in de versnellingsbuis. Zo'n venster moet een druk van drie atmosfeer weerstaan, terwijl er een groot hoogfrequentievermogen door gaat. (Voor het venster in de golfpijp

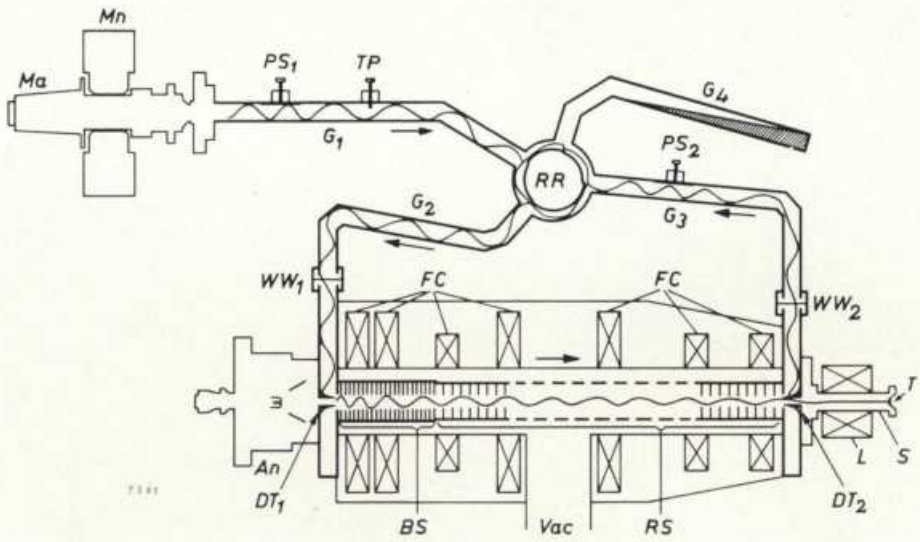


Fig. 21. Schema van de versneller. *Ma* magnetron met permanente magneet *Mn*. PS_1 en PS_2 fazedraaiers in de rechthoekige golfpijpen G_1 en G_3, waarmee men ervoor zorgt dat de golven met de goede fazen aankomen bij de terugkoppelvork *RR*, die is uitgevoerd als hybridische ring (Engels „rat race"). *TP* afstemsonde om de frequentie bij te regelen. G_4 met een waterbelasting reflexievrij gemaakte vierde arm van *RR*. *BS* en *RS* resp. de groepeersectie en de relativistische sectie van de versnellingsbuis. De golfpijpvensters WW_1 en WW_2 scheiden het vacuüm in de versnellingsbuis van de rest van het golfpijpsysteem, waarin de druk 3 atm is. *An* anode. *FC* spoelen voor het axiale magneetveld dat de elektronenbundel bij elkaar houdt. DT_1 en DT_2 resp. ingangs- en uitgangskoppelstuk van de versnellingsbuis [11]). *Vac* aansluiting van de vacuümpomp. *S* trefplaattuit met twee magnetische vierpoollenzen *L* voor de focussering van de elektronenbundel op de trefplaat *T*.

met het oog op elektrische doorslag: men moet òf evacueren (waarbij dan geen scheidende vensters nodig zijn tussen golfpijpsysteem en versneller), òf de druk verhogen. Verhoogde druk biedt de voordelen dat het afdichtingsprobleem gemakkelijker is op te lossen, en dat verwijdering van het magnetron geen invloed heeft op het vacuüm in de versnellingsbuis. Bovendien is verhoogde druk betrouwbaarder: bij versnellers met een geheel geëvacueerd golfpijpsysteem is het voorgekomen dat bij het magnetron, dus ver van de pomp, het vacuüm zo slecht was dat hier een glimontlading ontstond die het uittreevenster van het magnetron deed smelten.

Bij de vroeger beschreven versneller [3]) voor 15 MeV is de keuze niettemin op evacuatie gevallen, omdat G_2 (fig. 21) kan dit vermogen gemiddeld 4 kW bedragen, nl. 4 MW piekvermogen bij een werkfractie van 10^{-3}.) Inmiddels hebben we echter zo'n venster ontwikkeld (*fig. 23*). Het bestaat uit een gepolijste schijf kwarts van 5,5 cm diameter, gevat in een plaat messing van 6 mm dik. Een O-ring zorgt voor de afdichting. Om te voorkomen dat deze ring zich in een hoogfrequent veld zou bevinden, en daardoor diëlektrisch verhit zou worden, is de kwartsschijf aan zijn omtrek gemetalliseerd. Reflexies worden beperkt door langs empirische weg de opening in de messingen vatting een gunstige diameter te geven. Door deze werkwijze is het niet nodig de kwartsschijf een zeer nauwkeurig bepaalde dikte te geven. Het is evenmin nodig voor de diameter van deze schijf een zeer nauwkeurige maat in acht te nemen, daar de O-ring redelijke variaties in deze diameter kan opnemen.

[11]) Besproken in het in noot [10]) aangehaalde artikel van D. W. Fry, blz. 232.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De toepassing van overdruk heeft een nieuwe constructie nodig gemaakt voor de fazedraaiers (PS_1 en PS_2 in fig. 21 en 22), die dienen om de juiste fazerelaties bij de terugkoppelvork in te stellen. Bij de 15-MeV-versneller bestond zo'n fazedraaier uit een keramische wig die op stalen pennen verschuifbaar in de geëvacueerde golfpijp was aangebracht. Het is gebleken dat zo'n wig bij een druk van drie atmosfeer tot elektrische doorslag aanleiding geeft. Een oplossing is gevonden door een parallellogramvormig lichaam van polystyreen te gebruiken, dat kan schuiven over pennen van hetzelfde materiaal. Evenals vroeger zijn de fazedraaiers voorzien van een elektrisch motortje om ze op afstand te kunnen bedienen. De beschermkappen over de bewegingmechanismen zijn zichtbaar in fig. 22.

Bij de 15-MeV-versneller is als terugkoppelvork een zg. rondegolfpijpbalans gebruikt, die in het artikel [3]) vrij uitvoerig is besproken. Deze werkt

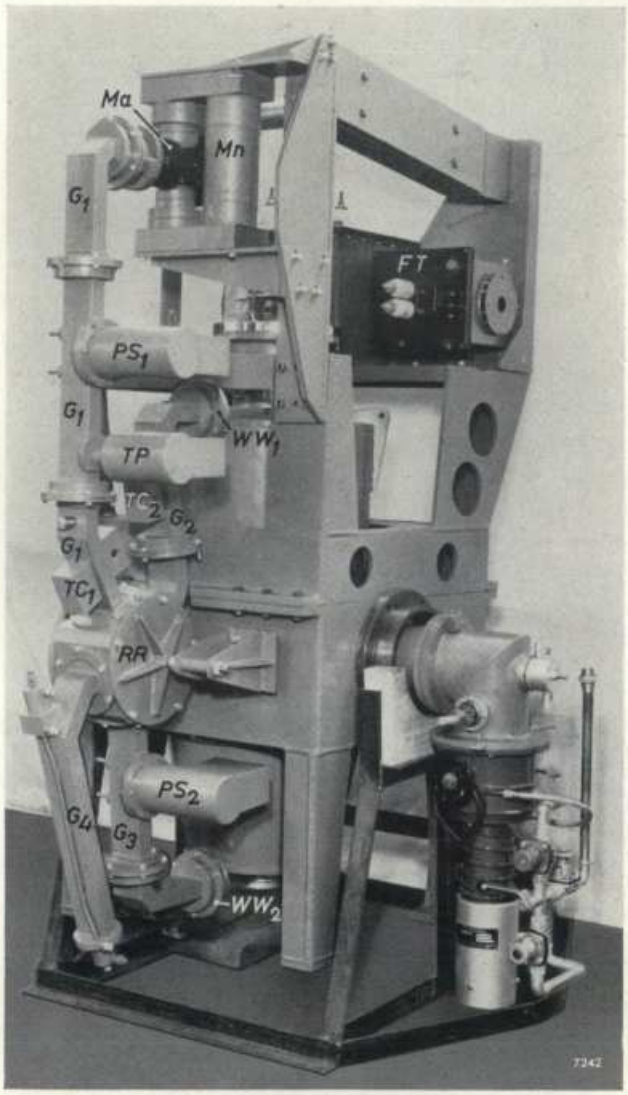


Fig. 22. Foto van de gedeeltelijk gemonteerde lineaire versneller, waarop het rechthoekige-golfpijpsysteem duidelijk zichtbaar is. TC_1 en TC_2 zijn thermokoppels waarmee het vermogen wordt gemeten [12]). *FT* is de transformator voor de gloeispanning van het elektronenkanon. Betekenis der letters verder als in fig. 21.

[12]) Zie het in noot [3]) aangehaalde artikel, blz. 197.

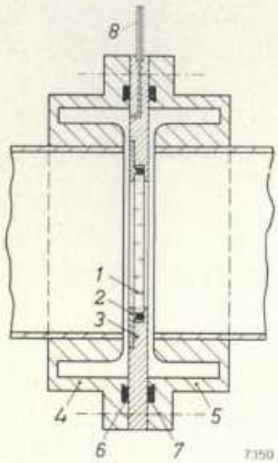


Fig. 23. Constructie van de golfpijpvensters (WW_1 en WW_2 in fig. 21 en 22). *1* schijf kwarts die met de O-ring *2* luchtdicht in de messingen vatting *3* is opgesloten. *4* en *5* in de golfpijptechniek veelvuldig toegepaste „choke"-koppelingen, die tegen de vatting *3* zijn geklemd, waarbij de O-ringen *6* en *7* een luchtdichte afsluiting verzekeren. Links van de kwartsschijf heerst een druk van 3 atm, onderhouden via de aansluiting *8*; rechts heerst het vacuüm van de versnellingsbuis.

goed, maar doordat de erop aangesloten golfpijpen niet in een plat vlak liggen, vraagt de constructie vrij veel ruimte. Omdat het met het oog op de hanteerbaarheid wenselijk was de omvang van de versneller zoveel mogelijk te beperken, hebben we een terugkoppelvork ontwikkeld waarbij de golfpijpen wèl in een plat vlak liggen. Deze vork, een hybridische ring (Engels „rat race"), is afgebeeld in *fig. 24*. Hij is zo geconstrueerd dat de hoogfrequentiekoppelingen en de van O-ringen voorziene pasvlakken voor luchtdichte afsluiting van elkaar gescheiden zijn. De constructie is ook bruikbaar in een geëvacueerd systeem.

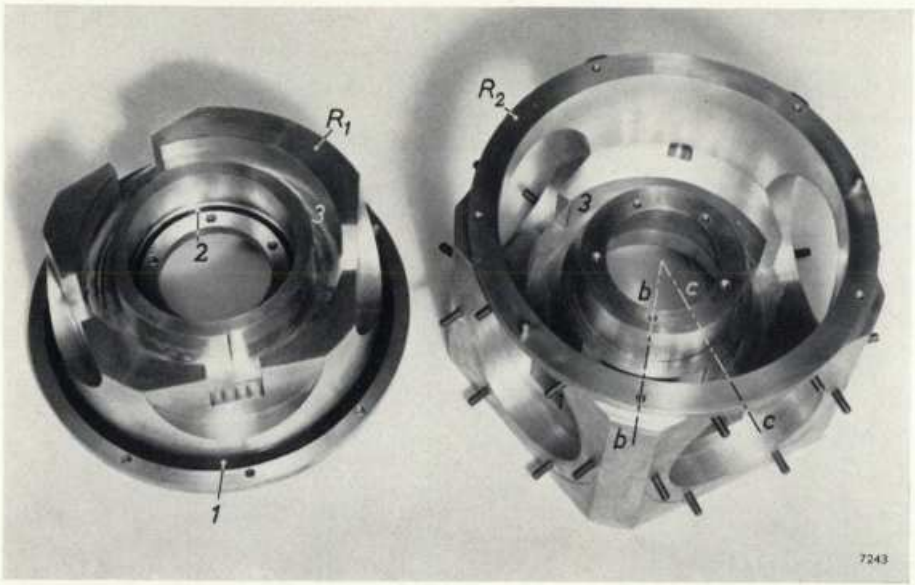
De versnellingsbuis

Een lopende elektromagnetische golf die elektronen moet versnellen, moet in de eerste plaats een elektrische component in de voortplantingsrichting hebben. In de tweede plaats moet de voortplantingssnelheid v_p van de golf langs de versnellingsbuis op zodanige wijze toenemen dat de golf en de erdoor meegevoerde elektronen voortdurend met elkaar in de pas blijven. De elektronen treden met een snelheid van ca. $0{,}4c$ (c = lichtsnelheid) de ver-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

a



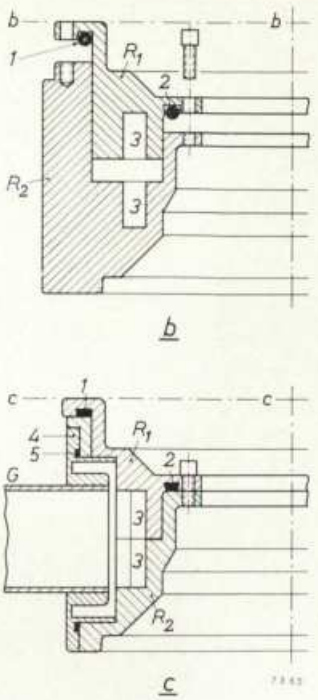


Fig. 24. *a*) De hybridische ring („rat race") *RR* in fig. 21 en 22 bestaat uit de twee delen R_1 en R_2. R_1 past in R_2, waarbij de O-ringen *1* en *2* voor een luchtdichte afsluiting zorgen. *b*) Doorsnede *b-b*. De delen R_1 en R_2 zijn hier nog niet op elkaar gedrukt. *c*) Doorsnede *c-c* over een plaats waar een golfpijp *G* in de ringvormige holte *3* uitmondt. In deze tekening zijn R_1 en R_2 op elkaar gedrukt. Voor de aansluiting van *G* is gebruik gemaakt van een „choke"-koppeling *4*, waarbij de O-ring *5* voor luchtdichtheid zorgt.

snellingsbuis binnen. Naarmate hun energie toeneemt, groeit hun snelheid aan, om asymptotisch tot c te naderen; v_p moet dus ook dit verloop vertonen. De opwekking van een elektromagnetische golf met de genoemde eigenschappen is mogelijk in een ronde koperen buis die door koperen diafragma's in compartimenten is verdeeld. Een dergelijke versnellingsbuis, die men, zoals reeds vermeld aan het begin van het artikel, een geplooide golfpijp noemt, wordt in lineaire elektronenversnellers algemeen toegepast.

In het schema (fig. 21) van onze versneller ziet men hoe de versnellingsbuis (lengte 1 m, buitendiameter ca. 9 cm) is omgeven door een mantel van 12,5 cm diameter, waarop de vacuümpomp is aangesloten, en waarmee alle compartimenten door gaten in de omtrek rechtstreeks zijn verbonden. De compartimenten worden dus radiaal gepompt, waardoor overal een goed vacuüm wordt verkregen. Om de vacuümmantel liggen spoelen, die het axiale magneetveld leveren dat nodig is om de elektronenbundel bij elkaar te houden. Om een robuuste constructie te krijgen, is het geheel ondergebracht in een stalen trommel, die tevens een weg biedt waarlangs de magnetische flux zich gemakkelijk kan sluiten.

De wijze waarop v_p langs de versnellingsbuis toeneemt, heeft men in de hand door de straal b van de opeenvolgende compartimenten (*fig. 25*) op de juiste wijze te laten veranderen. Hoe kleiner de diafragmasteek s, des te nauwkeuriger kan men v_p het voorgeschreven verloop geven. Daarom is in het begin van de buis, waar v_p snel moet toenemen, s kleiner dan verderop, waar de lichtsnelheid al bijna bereikt is. Daar ieder diafragma koperverliezen oplevert, kiest men het aantal diafragma's niet groter dan nodig is.

In het eerste gedeelte van de versnellingsbuis worden tevens de meegevoerde elektronen tot pakketten (één pakket per golflengte) gegroepeerd. Daarom noemt men dit eerste gedeelte wel de „groepeersectie". Het tweede gedeelte noemt men de „relativistische sectie", omdat de energie die de

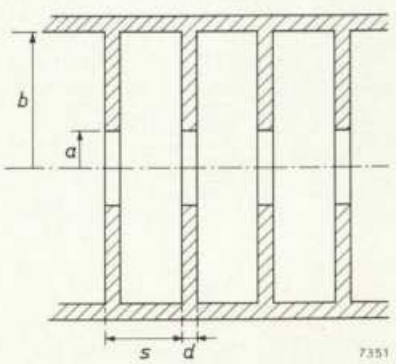


Fig. 25. Afmetingen van de compartimenten van de geplooide golfpijp die als versnellingsbuis dienst doet. *a* straal van een diafragma, *b* straal van de pijp, *s* diafragmasteek, *d* dikte van een diafragmaschijf.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

elektronen hier opnemen, in hoofdzaak een relativistische toeneming van hun massa tot gevolg heeft. In ons geval bestaat de versnellingsbuis uit een groepeersectie van 22 cm met $s = 1$ cm en een relativistische sectie — waar de elektronen verreweg het grootste gedeelte van hun uiteindelijke energie opnemen — van 78 cm met $s = 2$ cm.

De parameter a/λ_0

Zeer belangrijk is de keuze van de straal a van de diafragma-openingen (fig. 25), of, beter, van de verhouding a/λ_0, waarbij λ_0 de golflengte is die in de vrije ruimte beantwoordt aan de magnetronfrequentie f (dus $\lambda_0 f = c$; daar $f = 2999{,}5$ MHz, is $\lambda_0 = 10$ cm). Deze verhouding bepaalt in hoofdzaak welke energie de elektronen bij een gegeven magnetronvermogen uiteindelijk krijgen. Als a gekozen is, ligt b vast door de voorgeschreven waarde van v_p. Men wil a graag klein kiezen, omdat dit tot een grote elektronenenergie leidt, en derhalve in ons geval ook tot een grote intensiteit van de röntgenstraling. De per mA elektronenstroom opgewekte intensiteit van de röntgenstraling neemt namelijk snel toe met de elektronenenergie (vgl. fig. 26*b*). Hoe kleiner a, des te gevoeliger wordt echter v_p voor variaties in de magnetronfrequentie f en in de afmetingen van de versnellingsbuis. Daar de golf en de elektronen zeer nauwkeurig in de pas moeten blijven om een goede werking van de versnellingsbuis te verzekeren, worden de toleranties die men bij de fabricage kan toelaten snel kleiner, en de eisen die men moet stellen aan de constantheid van de frequentie en van de afmetingen — die beide door de temperatuur worden beïnvloed — worden snel zwaarder, naarmate men a kleiner kiest.

De verhouding a/λ_0 bepaalt welke procentuele nauwkeurigheid men van frequentie en afmetingen moet eisen. Voor de versnellingsbuis van de hier besproken röntgeninstallatie is voor de groepeersectie $a/\lambda_0 = 0{,}168$ gekozen, en voor de relativistische sectie $a/\lambda_0 = 0{,}13$. Ten einde bij de aansluiting van de twee secties de invloed op v_p van de discontinuïteiten in a en s te compenseren, laat men ook b op deze plaats discontinu veranderen (fig. 21).

Daar de elektronen verreweg het grootste gedeelte van hun energie opnemen in de relativistische sectie, is het vooral van belang voor deze sectie a/λ_0 klein te kiezen. Bij het ontwerp is uitgegaan van een frequentieconstantheid en van een nauwkeurigheid van essentiële afmetingen van 1 op 10^4. Toen het ontwerp werd gemaakt, was het nog niet mogelijk met zekerheid te voorspellen of de versneller onder deze omstandigheden bij $a/\lambda_0 < 0{,}13$ voor de relativistische sectie goed zou werken. Het is inmiddels gebleken dat een verkleining tot $a/\lambda_0 = 0{,}1$ mogelijk is. Men kan met een versnellingsbuis van een meter lengte dus röntgenstraling van nog grotere intensiteit opwekken dan bij de hier besproken installatie het geval is. Uit fig. 26*c* blijkt dat men dan een doseringssnelheid kan verwachten die ca. 30% groter is dan bij een relativistische sectie met $a/\lambda_0 = 0{,}13$.

Aanloopverschijnselen

Een van de belangrijke punten bij het ontwerp van een versneller is dat men rekening houdt met de opwarming van het magnetron (invloed op de frequentie) en van de versnellingsbuis (afmetingen). Het is bovendien gewenst dat de frequentie en de afmetingen niet alleen in de stationaire toestand bij elkaar passen, maar ook in de periode die hieraan voorafgaat. Anders krijgt men bij het inschakelen een aanloopeffect, dat zich daarin uit dat het een vrij lange tijd duurt voordat de röntgenstraling op volle intensiteit is gekomen. Door een zorgvuldig ontwerp van de waterkoeling, waarvan de versnellingsbuis is voorzien, is bereikt dat reeds twee à drie seconden na inschakelen de röntgenstraling op volle sterkte is.

Ontwerp voor maximale intensiteit

Hoe de voortplantingssnelheid v_p van de golf in de versnellingsbuis als functie van de plaats moet verlopen, en hoe dus de straal b voor de opeenvolgende compartimenten moet veranderen, opdat golf en elektronen in de pas blijven, hangt af van de bundelstroom. Zoals we zullen zien, is het mogelijk de intensiteit van de röntgenstraling die men bij een zekere bundelstroom mag verwachten, op papier vast te stellen. Zet men de te verwachten intensiteit uit als functie van de bundelstroom, dan ontstaat een kromme die een maximum vertoont. Men kan het best de versnellingsbuis ontwerpen voor de bundelstroom behorende bij dit maximum.

Hoe men de bedoelde kromme verkrijgt, blijkt uit *fig. 26*. In fig. 26*a* is als functie van de bundelstroom uitgezet de elektronenenergie die de versnellingsbuis zal leveren indien het verloop van b bij de bundelstroom is aangepast [13]). Dit is gedaan voor twee waarden van a/λ_0 in de relativistische sectie, nl. $a/\lambda_0 = 0{,}13$ en $a/\lambda_0 = 0{,}1$. Ieder punt van zo'n kromme (die niet gemeten, maar berekend is) beantwoordt dus aan een ander verloop van b, d.w.z. aan een andere versnellingsbuis. In fig. 26*b* is de doseringssnelheid (die men gewoonlijk opgeeft in plaats van de intensiteit; vgl. blz. 318) per mA bundelstroom uitgezet als functie van de elektronenenergie voor een trefplaat van wolfraam. Deze kromme is verkregen uit metingen van verscheidene onderzoekers, waaronder ook eigen metingen. Uit

[13]) De methode om zo'n kromme te berekenen, is geschetst in het in noot [3]) aangehaalde artikel, blz. 178-182.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

fig. 26*a* en *b* is fig. 26*c* afgeleid, waaruit blijkt dat een maximale intensiteit is te verwachten als de versnellingsbuis wordt ontworpen voor een bundelstroom van ca. 0,2 A. Uit fig. 26*a* volgt dat we dan bij een relativistische sectie met $a/\lambda_0 = 0{,}13$ een elektronenenergie van 4,3 MeV mogen verwachten. Om bij niet-gefocusseerde elektronenbundel de te verwachten doseringssnelheid in de bundelas op 1 m afstand van de trefplaat te vinden, moet de in fig. 26*c* af te lezen waarde van $8{,}9 \times 10^5$ r/min nog vermenigvuldigd worden met de werkfractie. Bij 500 impulsen van 1,8 μs (zie blz. 318) bedraagt de werkfractie 9×10^{-4}, zodat theoretisch 800 r/min verwacht kan worden. De gemeten waarde van 750 r/min klopt goed met deze verwachting.

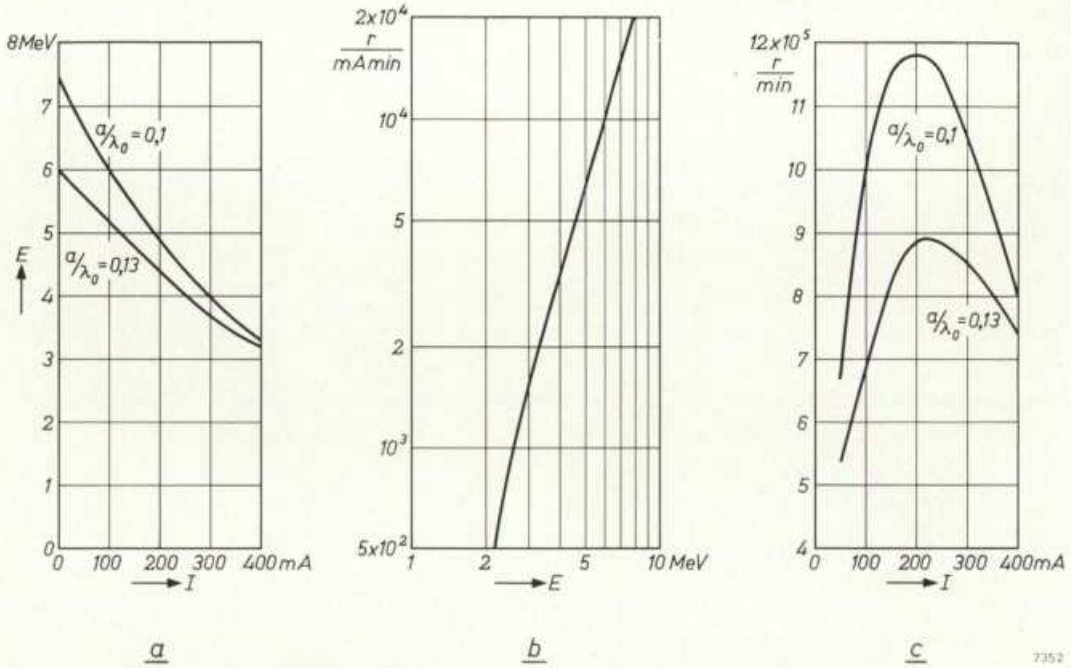


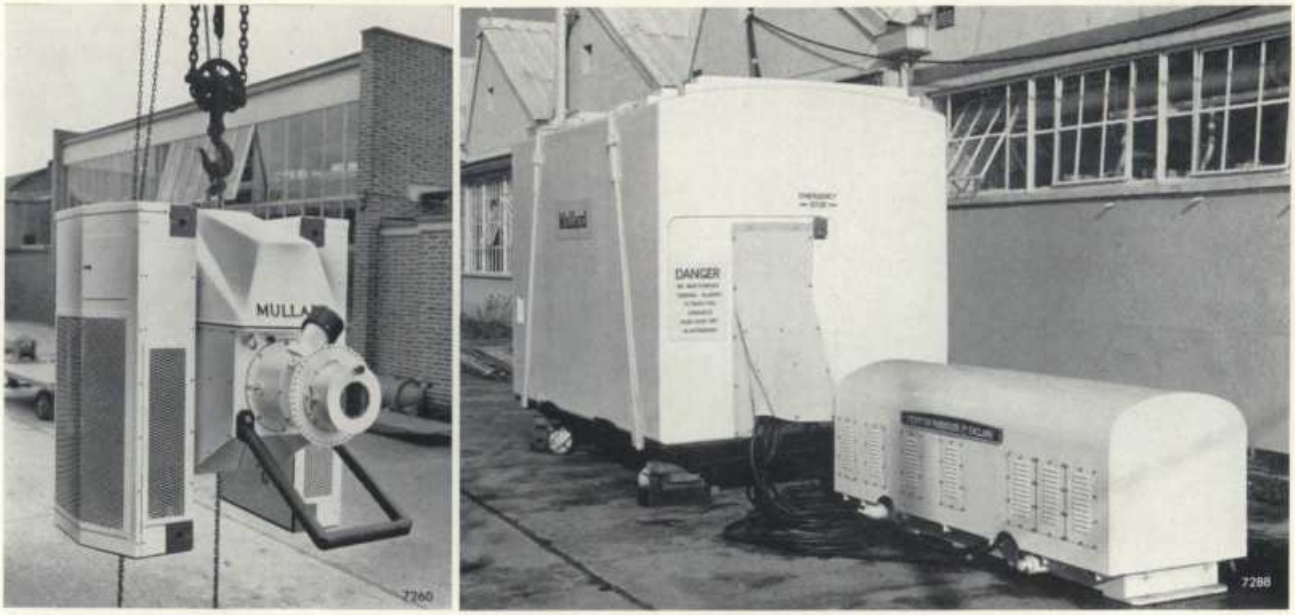
Fig. 26. *a*) De energie E, die de elektronen in een geplooide golfpijp krijgen als het verloop van de straal *b* (zie fig. 25) langs de golfpijp precies is aangepast bij de bundelstroom I. Elk punt van een kromme geldt dus voor een andere versnellingsbuis. De krommen zijn berekend voor versnellingsbuizen bestaande uit een groepeersectie van 22 cm met 1 cm diafragmasteek en $a/\lambda_0 = 0{,}168$, gevolgd door een relativistische sectie van 78 cm met 2 cm diafragmasteek en resp. $a/\lambda_0 = 0{,}13$ of $a/\lambda_0 = 0{,}1$. De beginsnelheid der elektronen is 0,4*c*, het magnetronvermogen 2 MW (in de impuls), en de versnellingsbuis bezit een terugkoppeling voor de energie met terugkoppelverhouding 1 : 1.
b) Röntgenopbrengst van een elektronenbundel als functie van de elektronenenergie. Uitgezet is, voor een bundel van 1 mA die loodrecht valt op een trefplaat van wolfraam, de doseringssnelheid in het hart van de röntgenbundel op 1 m van de trefplaat.
c) De door combinatie van (*a*) en (*b*) verkregen krommen, die de te verwachten doseringssnelheid in de bundelas op 1 m van de trefplaat voorstellen als functie van de bundelstroom I waarvoor de versneller ontworpen wordt. Om een röntgenbron van maximale doseringssnelheid te verkrijgen, moet men klaarblijkelijk de versneller ontwerpen voor $I \approx 200$ mA.

Ter verdere illustratie van de robuustheid en goede hanteerbaarheid van röntgeninstallaties met een lineaire versneller maken we tot slot kort melding van een geheel transportabele installatie, uitgerust met een versneller waarvan de uitvoering vrijwel identiek is met die van het boven beschreven exemplaar. Het betreft een installatie die door Mullard is geleverd aan de „United Kingdom Atomic Energy Authority" voor het onderzoek van de dikwandige stalen drukvaten voor kernreactoren van elektrische kernenergiecentrales. Deze vaten, die ter plaatse worden opgebouwd, moeten eveneens ter plaatse op eventuele materiaal- en lasfouten worden onderzocht. De versneller wordt met behulp van een montagekraan op de gewenste plaats neergezet; de voedings- en bedieningsapparatuur, benevens de modulator, zijn ondergebracht in een transportabele cabine en zijn door kabels van 75 m lengte met de versneller verbonden (*fig. 27*). De koelwatercircuits zijn gesloten uitgevoerd, en een motor-generator levert de nodige elektrische energie, zodat de installatie geheel zelfstandig kan werken.

Door de grote intensiteit van de röntgenbundel is het mogelijk de versneller b.v. in het midden van een bolvormig drukvat (diameter ruim 18 m, wand-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a *b*

Fig. 27. Een röntgeninstallatie met lineaire versneller voor materiaalonderzoek die geheel transportabel is uitgevoerd en die niet op het elektrische net of de waterleiding behoeft te worden aangesloten.
a) De versneller, die met een kraan op de gewenste plaats kan worden neergezet.
b) De cabine met voedings- en bedieningsapparatuur, benevens de modulator. Op de voorgrond het motoraggregaat dat de nodige elektrische energie levert.

dikte bijna 9 cm) draaibaar op te stellen, waardoor de insteltijd per opname minimaal wordt, terwijl per opname een las van aanzienlijke lengte wordt bestreken (*fig. 28*). In de praktijk is het mogelijk gebleken 3 m las te onderzoeken in 15 minuten. Deze tijd hangt natuurlijk af van de filmsoort. In *fig. 29* ziet men de versneller in actie, hangend boven een drukvat. In vergelijking met andere röntgen-

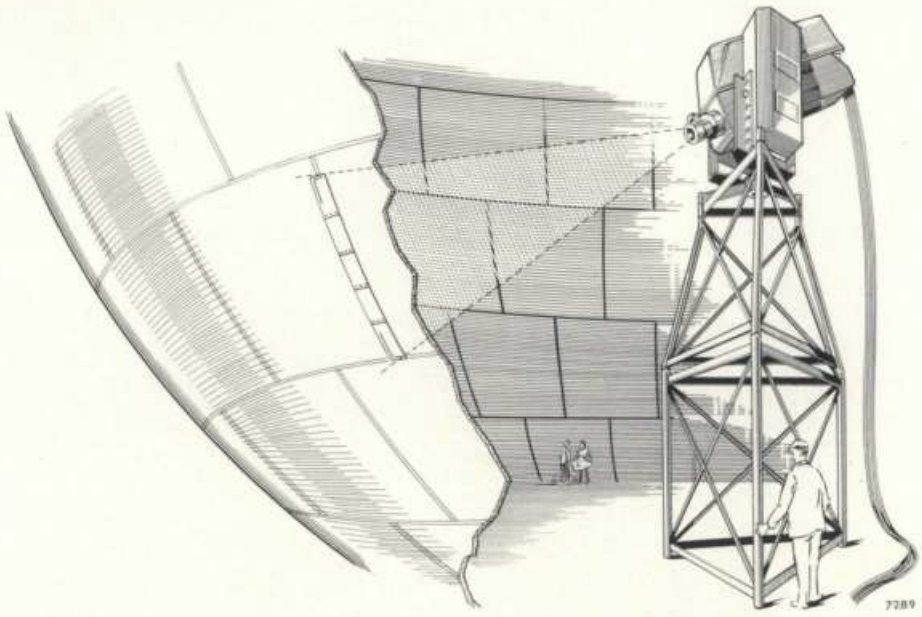


Fig. 28. De transportabele versneller, opgesteld in het middelpunt van een bolvormig stalen drukvat (diameter ruim 18 m, wanddikte bijna 9 cm). Dergelijke drukvaten, die gebruikt worden voor kernreactors voor elektrische centrales, worden ter plaatse van de centrale opgebouwd en met röntgenstralen onderzocht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

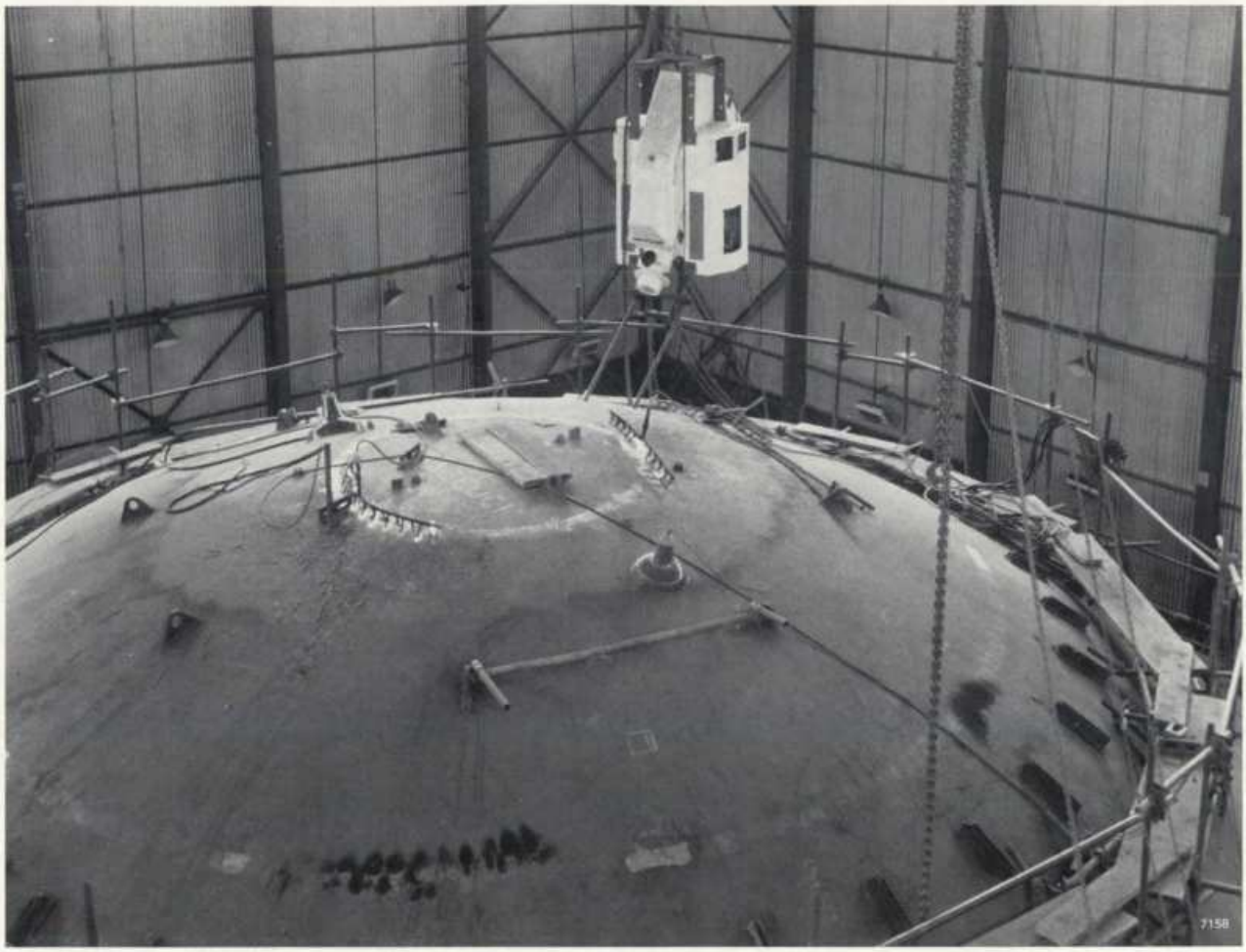


Fig. 29. De transportabele versneller in actie, hangend boven een der drukvaten van de kernenergiecentrale die te Trawsfynydd (Wales) wordt gebouwd. Twee steunstaven houden de versneller in de juiste positie. (Deze foto is gereproduceerd met toestemming van „Atomic Power Constructions Ltd".)

installaties die voor dit soort werkzaamheden geschikt zijn, biedt een installatie met een lineaire versneller een verkorting van de voor röntgenonderzoek uit te trekken tijd die op het gehele bouwschema een gunstige invloed heeft.

De auteur betuigt gaarne zijn dank aan de directeur van de Mullard Research Laboratories voor zijn toestemming tot het publiceren van dit artikel, en tevens aan zijn collega's en aan de leden van de staf van het „Armament Research and Development Establishment" voor hun waardevolle hulp en medewerking.

Samenvatting. Met een lineaire elektronenversneller, voorzien van een versnellingsbuis van één meter lang, kan men een zeer intensieve bron van harde röntgenstraling met zeer klein focus vervaardigen, die bijzonder geschikt is voor materiaalonderzoek aan dikwandige stalen werkstukken. Een röntgeninstallatie voor dit doel, ontwikkeld en gebouwd door de Mullard laboratoria te Salfords in Engeland, is sedert 1956 in geregeld gebruik. Een eis is dat men de röntgenbundel zeer gemakkelijk de juiste positie ten opzichte van de veelal zware en onhandelbare objecten van onderzoek kan geven. Aan deze eis is voldaan door de versneller draaibaar om een horizontale en een verticale as, en in hoogte verstelbaar, te monteren aan een loopkat die over een loopwagen rijdt, op de manier dus van een kraan in een fabriekshal. De versnelde elektronen worden door middel van een systeem van magnetische vierpoollenzen geconcentreerd op een trefplaat van wolfraam tot een focus van 1,5 bij 0,5 mm. De doseringssnelheid in het hart van de röntgenbundel is in stappen regelbaar en bedraagt maximaal 600 r/min op 1 m van de trefplaat. Een röntgencollimator beperkt de röntgenstraling tot een instelbare rechthoekige bundel. De doorsnede op 1 m van de trefplaat is regelbaar van 3 bij 3 cm tot 15 bij 25 cm. De resultaten zijn afhankelijk van de fotografische techniek; gemiddeld kan men verwachten fouten met afmetingen van 0,9 mm in een wand van 30 cm dik te ontdekken.

Verschillende constructiedetails passeren de revue, nl.: de draaibare koppelingen in de hoogvacuümleiding en in de voorvacuümleiding, welke koppelingen het mogelijk maken dat de oliediffusiepomp een verticale stand behoudt als de versneller om een horizontale as wordt gedraaid; het elektronenkanon, met een nieuwe eenvoudige constructie om dit van het vacuüm in de versnellingsbuis af te sluiten, waardoor een bezweken katode binnen vijf minuten kan worden vervangen; de vensters in het systeem van rechthoekige golfpijpen — die het magnetron (de bron van hoogfrequentie-energie) koppelen aan de versnellingsbuis —, welke vensters het mogelijk maken in dit koppelsysteem een druk van 3 atm te onderhouden; de hybridische ring („rat race") die in dit systeem als terugkoppelvork wordt gebruikt en die een compacte constructie mogelijk maakt. Het ontwerp van de versnellingsbuis voor maximale röntgendoseringssnelheid wordt toegelicht.

Aan het slot wordt nog melding gemaakt van een recente installatie, eveneens met een lineaire versneller voor 4,3 MeV, die geheel transportabel is uitgevoerd en die bij de bouw van kernenergiecentrales wordt gebruikt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN FOTOGELIJKRICHTENDE LAAG VOOR EEN LEESMATRIX

door J. G. van SANTEN *) en G. DIEMER *). 621.383.44:621.319.2

Fotogeleidende materialen hebben reeds op vele terreinen hun nut bewezen. We denken b.v. aan fotocellen die gebruikt worden voor vlambeveiligers bij oliestookinrichtingen en voor kraakvrije volumeregeling van radio-ontvangtoestellen, of aan fotokatodes die dienen voor opneembuizen in televisiecamera's. Bij de toepassing van het fotogeleidende cadmiumsulfide voor een „leesmatrix" doet zich een specifiek probleem voor, dat de schrijvers op een elegante manier hebben opgelost.

Automatisch lezen met behulp van fotoweerstanden

Bij de voortgaande ontwikkeling op het gebied van de elektronische rekenmachines en de toepassingen daarvan doet zich herhaaldelijk de wens voor, te beschikken over een hulpmiddel waarmee men een optisch beeld automatisch kan herkennen of „lezen". Men kan het beeld daartoe projecteren op een plaat die zodanig geprepareerd is dat men, met elektrische middelen, punt voor punt kan nagaan hoeveel licht daarop valt. In de voor de praktijk belangrijke gevallen wil men slechts de contour van de figuur herkennen, zodat men ermee kan volstaan te bepalen welke punten wel en welke niet belicht zijn.

Voor het beschreven doel kan men gebruik maken van fotoweerstanden, b.v. van cadmiumsulfide, waarvan de elektrische weerstand afhankelijk is van de belichtingssterkte. Men rangschikt een aantal van deze fotoweerstanden op de wijze van de elementen in een matrix, projecteert hierop het te herkennen beeld en legt een spanning aan successievelijk elk der fotoweerstanden. Naar gelang er een grote dan wel een kleine stroom gaat lopen, kan men concluderen of de fotoweerstand belicht of onbelicht is. Opdat de „leesmatrix" de contour voldoende gedetailleerd „ziet", moeten de afmetingen van de beeldelementen, dat zijn de gebruikte fotoweerstanden, zo klein mogelijk zijn (*fig. 1*).

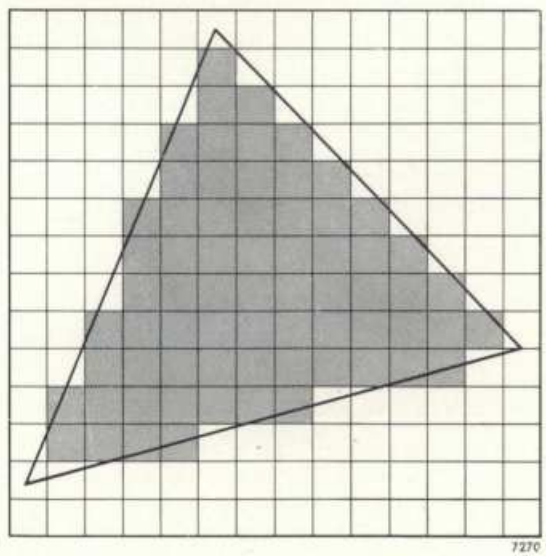


Fig. 1. Hoe een matrix waarmee men een optisch beeld automatisch kan „lezen" (identificeren), de erop geprojecteerde figuur „ziet".

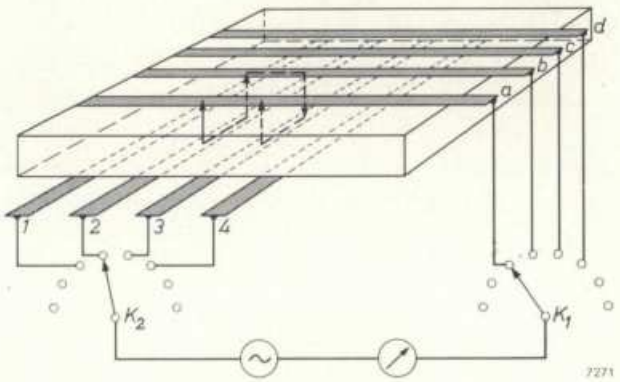


Fig. 2. Principe van het automatisch lezen met behulp van een matrix. Aan weerszijden van een laag fotogeleidend materiaal zijn de strippen *a*, *b*, *c*, *d*, *1*, *2*, *3*, *4* aangebracht. De strippen worden afgetast door de kiezers K_1 en K_2. Telkens wanneer K_1 in één der standen *a*, *b*, . . . staat, doorloopt K_2 de standen *1*, *2*, ... Wanneer de spanning op de strippen *a* en *2* staat en het kruispunt van deze strippen wordt belicht, dan gaat er een stroom *I* (getrokken pijl) lopen. Doordat er in het algemeen ook andere kruispunten belicht zijn, gaan er bovendien langs allerlei wegen parasitaire stromen lopen. Eén van die wegen is in de figuur aangegeven met een stippellijn.

De leesmatrix wordt op de eenvoudigste manier vervaardigd door aan weerszijden van een vlakke, dunne laag cadmiumsulfide geleidende strippen aan te brengen, zoals weergegeven in *fig. 2*. Een beeldelement bestaat dan uit dat deel van de laag dat zich tussen twee elkaar kruisende strippen bevindt. (De werkelijke uitvoering, *fig. 3*, is nog enigszins anders, zoals aan het slot zal worden toegelicht.)

*) Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

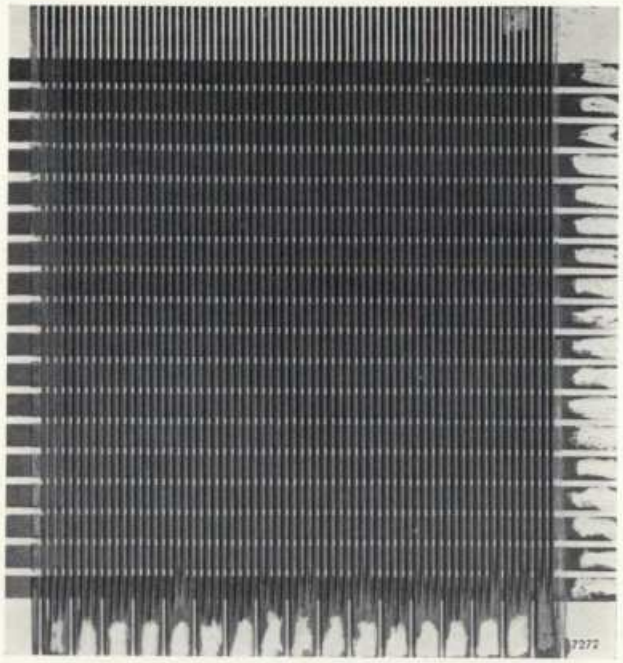


Fig. 3. Een matrix voor het lezen van optische beelden.

Op de matrix wordt de te onderzoeken figuur geprojecteerd, en de strippen van de matrix worden met behulp van twee kiezers K_1 en K_2 afgetast. Telkens wanneer K_1 in een der standen a, b, c, ... staat, doorloopt K_2 de standen 1, 2, 3, ... Hebben de kiezers een zodanige stand dat de spanning b.v. op het element $a2$ (tussen strip a en strip 2) komt te staan, dan gaat er een stroom I_{a2} lopen, die des te groter is naarmate er meer licht op $a2$ valt. Is deze stroom groter dan een vastgestelde waarde, dan wordt $a2$ gerekend buiten de contour te liggen. De totale informatie over de elementen die aldus verkregen wordt, kan men door een rekenmachine laten vergelijken met die voor een reeks contouren die in het geheugen van de machine bewaard worden. Vindt de machine een overeenkomst, dan meldt zij dit en is de figuur herkend.

De op de beschreven wijze vervaardigde matrix is echter nog niet goed bruikbaar, om de volgende reden. Wanneer de spanning op de strippen a en 2 staat, gaat er niet alleen een stroom door de fotoweerstand $a2$ lopen, maar ook langs allerlei andere wegen, b.v. door de serieschakeling van de fotoweerstanden $b2$, $b3$ en $a3$, zie fig. 2. In *fig. 4* is voor een matrix met twee maal vijf strippen de equivalente schakeling afgebeeld; alle andere weerstanden blijken in bepaalde combinaties parallel met $a2$ te staan. Bevinden zich in de parallelketens een aantal belichte fotoweerstanden, dan is het mogelijk dat er daardoor parasitaire stromen lopen, die een bijdrage I' tot de totale stroom I_{a2} leveren. Aldus kan, ook als $a2$ onbelicht is, de totale stroom I_{a2} groter worden dan de eerder genoemde vastgestelde waarde, waardoor het element $a2$ als belicht geïnterpreteerd wordt.

Men kan dit euvel verhelpen door gebruik te maken van een materiaal waarvan de weerstand niet alleen afhangt van de belichtingssterkte, maar ook van de richting waarin de spanning wordt aangelegd. Men spreekt dan van een fotogelijkrichter. Wordt de matrix met behulp van zulk materiaal vervaardigd, dan komt er — schematisch gezien — met elke weerstand een gelijkrichter in serie te staan. De weg voor een parasitaire stroom zal steeds minstens één gelijkrichter in keerrichting bevatten, zodat de gezamenlijke bijdrage van de parasitaire stromen voldoende klein blijft.

Hoewel er reeds enige typen fotogelijkrichters in de handel zijn, kunnen deze niet gemakkelijk in een matrix toegepast worden. Dit is niet alleen te wijten aan hun afmetingen, maar ook aan het feit dat de matrix dan opgebouwd zou moeten worden uit een groot aantal afzonderlijke elementen, wat in vergelijking met het aanbrengen van de strippen op een laag een omslachtig werk is. Het is nu mogelijk gebleken om, uitgaande van het fotogeleidende

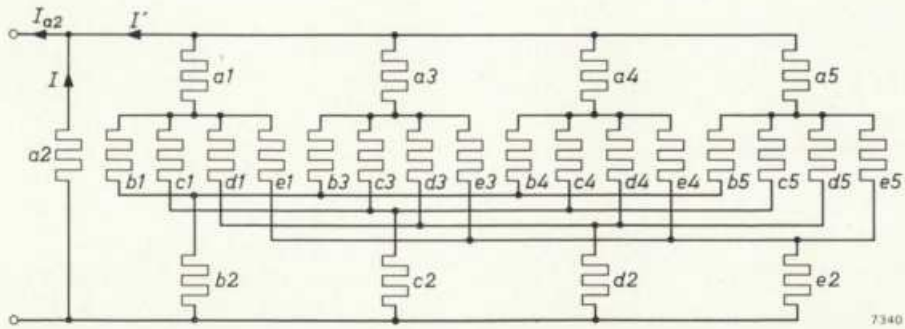


Fig. 4. Staat de spanning op de strippen a en 2, dan zijn alle overige weerstanden in bepaalde combinaties parallelgeschakeld met $a2$, zoals hier is weergegeven voor een matrix met twee maal vijf strippen. De stroom I' door de parallelketens kan een zo grote bijdrage tot de totale stroom I_{a2} leveren dat het lijkt alsof het element $a2$ belicht wordt, hoewel het in het donker is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

materiaal cadmiumsulfide [1]), een nieuwe fotogelijkrichter te maken, waarmee men de matrix op de beschreven gemakkelijke manier met strippen kan vervaardigen.

De nieuwe fotogelijkrichter [2])

Voor de bereiding van de nieuwe fotogelijkrichter wordt CdS-poeder gemengd met een geringe hoeveelheid poedervormig glasemail [3]), en het mengsel wordt verhit tot op het smeltpunt van het email (ongeveer 600 °C). Door de adhesiekrachten trekt het email zich als een dun laagje (dikte enige Å) tussen de korrels (diameter enige μ), waardoor deze als het ware aan elkaar worden gekit (*fig. 5*). Weliswaar wordt door het isolerende karakter van het email de weerstand bij belichting, in vergelijking met het gesinterde CdS-poeder, sterk verhoogd, maar het essentieel nieuwe is dat we nu van het email door een speciale behandeling een elektreet kunnen maken, d.i. een permanent gepolariseerd diëlektricum, waardoor de gewenste gelijkrichting ontstaat. De behandeling bestaat daarin dat we het CdS met glasemail opnieuw verhitten, nu tot ongeveer 200 °C, en het in een sterk elektrisch veld weer afkoelen. De polarisatie die onder invloed van het veld in het email optreedt, wordt dan als het ware vastgevroren.

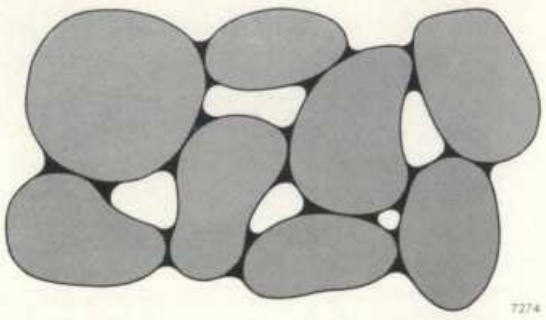


Fig. 5. Schematische doorsnede van het nieuwe fotogelijkrichtende materiaal, dat bestaat uit een laag CdS-korrels met glasemail ertussen.

[1]) De eigenschappen en toepassingsmogelijkheden van CdS zijn uitvoerig beschreven in: N. A. de Gier, W. van Gool en J. G. van Santen, Fotoweerstanden van geperst en gesinterd cadmiumsulfide, Philips techn. T. **20**, 285-295, 1958. We releveren hieruit dat men de beste fotogeleidende eigenschappen verkrijgt, niet door uit te gaan van zuiver CdS, maar door nauwkeurig gedoteerd (d.w.z. met kleine hoeveelheden van geschikte stoffen gemengd) CdS-poeder tot pillen te persen en te sinteren. Van het aldus verkregen materiaal zijn zeer gevoelige fotoweerstanden gemaakt, b.v. de ORP 30, de ORP 90 en de LDR.B8.73104.

[2]) Deze fotogelijkrichter is reeds beschreven in: J. G. van Santen en G. Diemer, Photorectifier based on a combination of a photoconductor and an electret, Solid-state electronics **2**, 149-156, 1961 (no. 2/3), waar meer op de details werd ingegaan.

[3]) Glasemail is een glassoort die een zeer kort smelttraject heeft (in casu bij ongeveer 600 °C), dit in tegenstelling met de normale glassoorten, die juist een zeer lang smelttraject hebben.

We gaan nu iets nader in op de verklaring van de gelijkrichtende werking van de beschreven combinatie en bespreken daarna de toepassing in een matrix.

Het geleidingsmechanisme van de combinatie fotogeleider-elektreet

We beschouwen eerst het geval van twee gewone geleiders (b.v. van koper) die gescheiden worden door een isolator, en bespreken het geleidingsmechanisme hiervan aan de hand van het bekende bandenschema, zoals dat is weergegeven in *fig. 6a*; het onderschrift geeft een nadere toelichting *).

Leggen we een spanning tussen de twee geleiders, dan verschuiven de bandenschema's ten opzichte van elkaar (fig. 6*b*). Hoewel er nu een potentiaal-

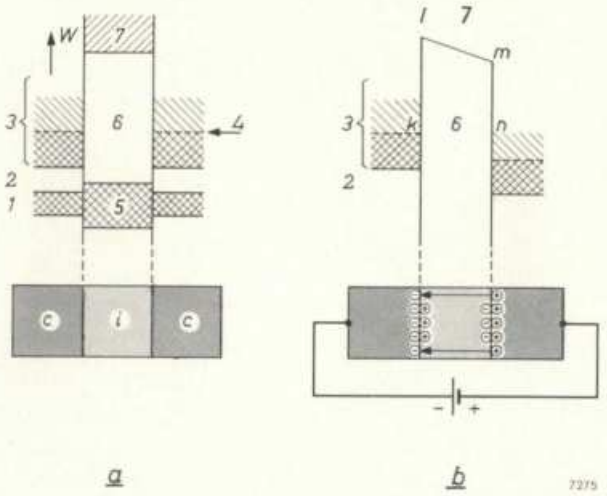


Fig. 6. *a*) Schema van toegestane en verboden potentiaalniveaus (bandenschema) van twee geleiders *c* (van een zelfde materiaal) die worden gescheiden door een isolator *i*. De enkele arcering duidt op banden van toegestane niveaus, de dubbele arcering geeft aan dat de niveaus met elektronen zijn bezet. *1* is een geheel bezette band, *2* een verboden zone, *3* is de maar gedeeltelijk bezette band die kenmerkend is voor een geleider: sommige van de elektronen die zich in de bezette niveaus beneden *4* niet kunnen verplaatsen, worden bij het aanleggen van een spanning overgebracht naar de toegestane, lege niveaus boven *4* en kunnen dan aan de geleiding deelnemen. *5* en *7* zijn een geheel bezette en een geheel lege band van de isolator, *6* is de brede verboden zone die kenmerkend is voor een isolator: bij spanningen lager dan de doorslagspanning kunnen de elektronen niet van *5* naar *7* komen, zodat geleiding is uitgesloten.

De banden *1* en *5* zijn in *b* niet meegetekend.

b) Een spanning die aan de geleiders wordt gelegd, heeft tot gevolg dat de bandenschema's ten opzichte van elkaar verschuiven. Er ontstaat een oppervlaklading in de geleiders, die voor een deel dient ter compensatie in de oppervlaklading in de isolator die voortkomt uit een onder invloed van de spanning ontstane polarisatie in de isolator. De doorsnede van de potentiaalbarrière *klmn* en de hoogte *kl* zijn zo groot dat er vrijwel geen kans bestaat dat een elektron door de barrière heen komt („tunnelt").

*) *Opmerking van de redactie:* Deze materie zal uitvoerig behandeld worden in een uiteenzetting over de grondslagen van de fotogeleiding, die binnenkort in dit tijdschrift verschijnt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verschil over de isolator staat, gaat er bij een niet te dunne isolator geen noemenswaardige stroom lopen. De kans dat een elektron door de potentiaalberg *klmn* heen komt („tunnelt"), d.w.z. van de ene geleider naar de andere gaat zonder dat het voldoende energie heeft om over de berg heen te komen, is klein, en wel des te kleiner naarmate de „doorsnede" *klmn* en de hoogte *kl* groter zijn. Verhogen we de spanning, dan zullen er steeds meer elektronen door de barrière heenkomen, zodat de stroom toeneemt. Dit brengt echter in het beeld van fig. 6*b* geen verandering, omdat het potentiaalverval in de geleiders te verwaarlozen is. We merken nog op dat het aanleggen van de spanning een polarisatie in de isolator veroorzaakt (verplaatsing van de + en — ladingen). De hiermee gepaard gaande extra oppervlakladingen aan de contactvlakken tussen isolator en geleiders worden gecompenseerd door de toevoer of afvoer van de vrije negatieve ladingdragers die in een geleider in overvloed aanwezig zijn.

We gaan nu over naar het geval van twee korrels fotogeleidend CdS waartussen zich een zeer dunne laag isolerend glasemail bevindt (*fig. 7a*). Wanneer een spanning aan de CdS-korrels wordt gelegd, ondergaat de potentiaalbarrière, die ontstaat door de aanwezigheid van het email, een soortgelijke verandering als in fig. 6*b*. Doordat de laag email zeer dun is, heeft de potentiaalbarrière, ook voordat de spanning wordt aangelegd, een betrekkelijk kleine doorsnede. Door het aanleggen van de spanning is deze nog verkleind van *klm'n* naar *klmn* (fig. 7*b*). Er kunnen nu een zo groot aantal elektronen door de barrière tunnelen dat er een merkbare stroom gaat lopen. Deze stroom blijkt gedurende de eerste 10 seconden na het inschakelen af te hangen van de tijd (*fig. 8*). Dit komt doordat het geleidingsmechanisme in dit geval op één punt afwijkt van het vorige. In CdS zijn er maar weinig ladingdragers, die deels positief, deels negatief zijn. De positieve ladingdragers zijn de „gaten", die in de valentieband worden gevormd wanneer een elektron door absorptie van een foton naar de geleidingsband overspringt. Deze gaten zijn niet alleen gering in aantal, maar ook nog beperkt in hun bewegingsvrijheid, doordat ze betrekkelijk sterk aan hun roosterplaatsen zijn gebonden. In het hier beschouwde geval nemen in de positieve korrel ook de gaten deel aan het ladingstransport. Ten gevolge van hun geringe beweeglijkheid zijn de gaten geruime tijd onderweg naar de isolator, zodat er in de positieve korrel behalve de oppervlaklading een ruimtelading in de nabijheid van de isolator ontstaat. De elektronen bewegen zeer snel en veroorzaken in de negatieve korrel geen noemenswaardige ruimtelading.

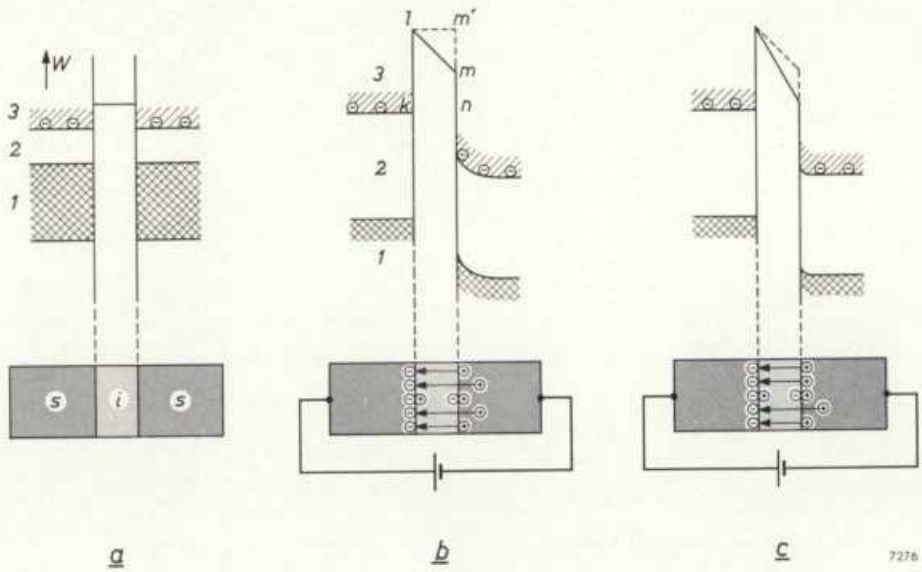


Fig. 7. *a*) De geleiders van fig. 6 zijn hier vervangen door twee korrels fotogeleidend CdS *s*, de isolator *i* bestaat uit een zeer dunne laag glasemail. Voor een halfgeleider als CdS is de smalle verboden zone *2* kenmerkend, die de valentieband *1* van de geleidingsband *3* scheidt. De elektronen uit de valentieband kunnen door absorptie van een foton dat voldoende energie heeft, naar de geleidingsband gebracht worden. Het relatief kleine aantal elektronen dat zich bij belichting in de geleidingsband bevindt, is hier niet door dubbele arcering maar door enkele vrije ladingdragers aangegeven. Bij het overgaan van elektronen van *1* naar *3* ontstaan er in de valentieband gaten, die zich als positieve ladingen gedragen, maar die zich in CdS slechts traag door het rooster kunnen verplaatsen.
b) De reeds kleine doorsnede van de potentiaalbarrière (gevolg van de zeer geringe dikte van de dunne laag glasemail) wordt door het aanleggen van een spanning nog verder verkleind. De kans dat de elektronen door de potentiaalbarrière heenkomen, is nu voldoende groot, waardoor er een merkbare stroom gaat lopen. De gaten die onder invloed van het veld naar de barrière worden gedreven, bewegen langzaam. Ze veroorzaken een ruimtelading en daarmee een potentiaalverdeling die overeenkomt met een kromming van de energieniveaus.
c) Na enige tijd hebben de meeste gaten het oppervlak bereikt. Hierdoor is het potentiaalverval in veel mindere mate dan bij (*b*) gelokaliseerd in de CdS-korrel. Er staat nu meer spanning over de barrière, zodat de doorsnede nog kleiner is geworden. Het aantal elektronen dat door de barrière heenkomt en daarmee de elektrische stroom nemen toe, totdat ze een verzadigingswaarde bereiken. Door recombinatie verdwijnen er steeds gaten, ter vervanging waarvan nieuwe gaten worden aangevoerd, zodat de ruimtelading niet geheel nul wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

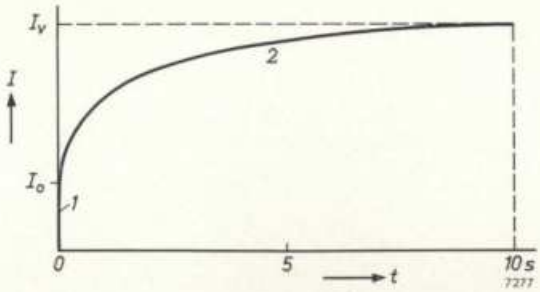


Fig. 8. De stroom I door het CdS met glasemail als functie van de tijd t bij constante spanning en belichting. De spanning wordt op het tijdstip $t = 0$ ingeschakeld. Het verloop bestaat uit twee stukken: *1* onmiddellijke responsie, *2* langzame stijging naar een verzadigingswaarde.

Door de aanwezigheid van de ruimtelading is een deel van het potentiaalverval gelokaliseerd binnen de positieve korrel, wat wordt weergegeven door een kromming in het bandenschema (fig. 7*b*). Deze toestand is echter niet stationair; steeds meer gaten bereiken het oppervlak en vullen daar de oppervlaklading aan. Hierdoor wordt de ruimtelading kleiner en neemt het potentiaalverval in de korrel af, wat gepaard gaat met een toeneming van het potentiaalverschil over de isolator. De doorsnede van de barrière wordt nog kleiner, en de stroom groter. Na ongeveer 10 s is een stationnaire toestand ingetreden. Een geringe ruimtelading blijft hierin bestaan (fig. 7*c*), als gevolg van recombinatie (terugvallen van de elektronen in de valentieband): hierdoor verdwijnen er nl. steeds gaten, ter vervanging waarvan nieuwe gaten worden aangevoerd.

We resumeren dat een spanning die aan twee belichte, door de isolator gescheiden CdS-korrels gelegd wordt, een stroom veroorzaakt, die in een tijdsverloop van 10 s aangroeit tot een stationaire waarde. De grootte hiervan hangt nog af van de dikte van de isolator. Hierbij mogen we overigens niet vergeten dat CdS in het donker zelf een isolator is, doordat er dan geen elektronen in de geleidingsband zijn. De genoemde stromen zijn dus nog afhankelijk van de belichting.

Als derde geval beschouwen we weer de twee CdS-korrels, maar nu met tussengelegen elektreet, d.w.z. met de dunne laag glasemail met daarin de eerder genoemde permanente polarisatie. In *fig. 9a* wordt hiervan het bandenschema gegeven. Aan de permanente polarisatie in de isolator beantwoordt een elektrisch veld, dat door een pijl is weergegeven. De vorm van de potentiaalbarrière is nu asymmetrisch geworden. Een uitwendige spanning die wordt aangelegd in zo'n richting dat het veld tussen de korrels met dat van de elektreet meewerkt (fig. 9*c*), verkleint de barrière veel meer dan een spanning van dezelfde grootte, maar met tegengestelde richting (fig. 9*b*). In het eerste geval gaat er onmiddellijk een stroom lopen, terwijl in het tweede geval de stroom onmiddellijk na het inschakelen nog bijna nul is.

Een en ander geldt alleen *onmiddellijk na het inschakelen* van de spanning. Na enige tijd zijn er voldoende ladingdragers bij de oppervlakken aangekomen om de oppervlaklading van de elektreet

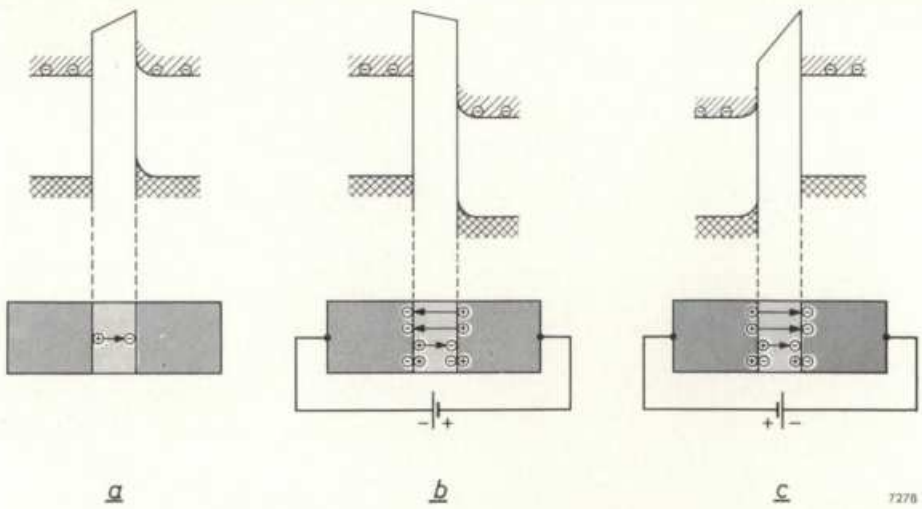


Fig. 9. *a*) Door een speciale behandeling is het email een elektreet geworden, d.w.z. dat een gedeelte van de polarisatie blijft bestaan, nadat het uitwendig veld is weggenomen.
b) Een uitwendige spanning in een richting tegengesteld aan die van het veld van de elektreet ondervindt de tegenwerking daarvan, zodat de potentiaalbarrière nauwelijks verkleind wordt.
c) Een uitwendige spanning in de richting van het veld van de elektreet maakt de doorsnede van de barrière zeer klein. Er zal dan ook onmiddellijk na het inschakelen van de spanning een veel grotere stroom lopen dan in het geval (*b*).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

te neutraliseren. De potentiaalbarrière in fig. 9*c* is dan wat minder scherp en die in fig. 9*b* wat scherper geworden, zodat de beide figuren dan elkaars spiegelbeeld zijn. De stroom is vanaf dat ogenblik in beide gevallen even groot. In *fig. 10* wordt het verschil tussen de stroom in de twee richtingen, als functie van de tijd, in beeld gebracht.

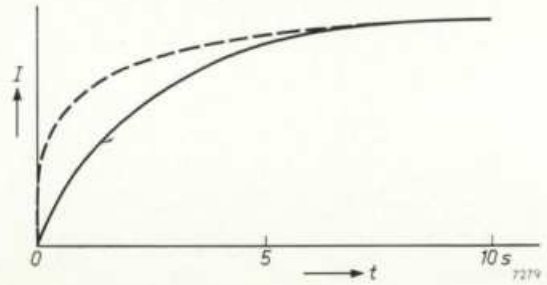


Fig. 10. Fotostroom I als functie van de tijd t bij gepolariseerd email, in de „doorlaatrichting" (gestippeld) en in de „keerrichting" (getrokken). In de doorlaatrichting is er een onmiddellijke responsie, in de keerrichting echter niet.

Uit fig. 10 volgt nu dat de weerstand van belicht CdS met glasemail bij het aanleggen van gelijkspanning in beide richtingen gelijk is (althans na 10 s), *maar bij het aanleggen van wisselspanning in de ene richting groter is dan in de andere.* Voor wisselstroom verkeert het systeem immers steeds in de toestand van „onmiddellijk na het inschakelen". Het blijkt dus dat de combinatie CdS-elektreet-CdS voor wisselstroom een gelijkrichtende werking heeft. In *fig. 11* is een stroom-spanningskarakteristiek van deze nieuwe gelijkrichter gegeven.

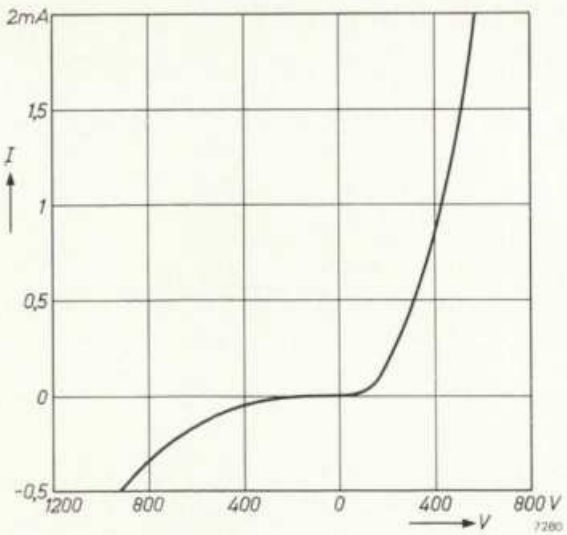


Fig. 11. Stroom-spanningskarakteristiek van CdS met gepolariseerd email, opgenomen met wisselspanning. Alle frequenties boven ongeveer 1 Hz geven hetzelfde verloop.

Toepassing van het fotogelijkrichtend materiaal in een matrix

Om een indruk te geven van de invloed van de belichting, is in *fig. 12* voor een aantal belichtingssterkten het verband tussen stroom en spanning uitgezet voor CdS met ongepolariseerd email. Ter vergelijking is ook een kromme voor gesinterd CdS-poeder opgenomen [1]). Men dient hierbij wel te bedenken dat niet alleen de fotogeleidende eigenschappen van de twee materialen een rol spelen, maar ook b.v. de elektrodenafstand en de aan het licht blootgestelde oppervlakte [2]). Toch is men wel gerechtigd uit fig. 12 af te leiden dat het gesinterde

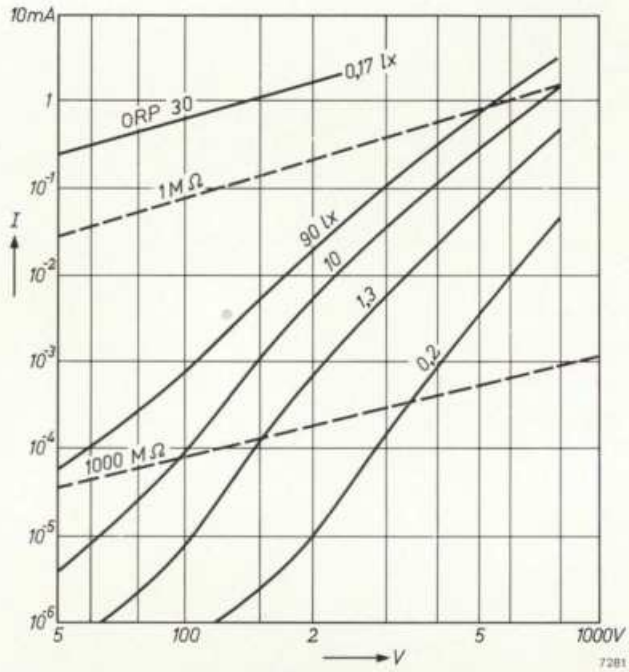


Fig. 12. Stroom-spanningskarakteristieken van de fotogeleidende CdS-laag met ongepolariseerd email, belicht met resp. 0,2, 1,3, 10 en 90 lux, en van gesinterd CdS-poeder (ORP 30) belicht met 0,17 lux. De stippellijnen gelden voor normale weerstanden van de vermelde grootte. Het verband tussen I en V voor de CdS-laag met email kan bij benadering worden weergegeven door $I = V^5$, terwijl de weerstand ervan ongeveer een factor 10^6 groter is dan die van gesinterd CdS.

CdS-poeder een kleine en constante weerstand heeft, terwijl de weerstand van CdS met email bij dezelfde belichting veel groter is en bovendien afhankelijk van de spanning. Deze afhankelijkheid houdt daarmee verband dat de weerstand voornamelijk wordt bepaald door de vorm van de potentiaalbarrière en niet door het CdS.

Fig. 12 laat zien dat door belichting de weerstand van CdS met glasemail gemakkelijk een factor 1000 kleiner kan worden. Het is dus bruikbaar voor een leesmatrix, zoals in de inleiding is beschreven. De daar genoemde belemmering van de discriminatie tussen licht en donker, die te wijten was aan

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het optreden van parasitaire stromen (fig. 2), is nu verholpen door de gelijkrichtende werking: wanneer er aan één bepaalde fotoweerstand een spanning in de doorlaatrichting wordt gelegd, dan bevinden zich in alle parallelketens gelijkrichters in keerrichting, zoals hierboven reeds werd uiteengezet.

Fig. 13 geeft een doorsnede van een matrix, zoals hij in werkelijkheid wordt uitgevoerd. De insnijdingen tussen de bovenstrippen zijn om de volgende reden aangebracht. De fotonen kunnen niet diep in het materiaal doordringen, zodat de fotogeleiding voornamelijk aan het oppervlak plaatsvindt. Wanneer het fotogelijkrichtend materiaal op de getekende wijze is ingesneden, kan de stroom via een oppervlaklaag van een bovenstrip naar een benedenstrip lopen. Zonder deze insnijding zou de weerstand in de doorlaatrichting te groot zijn.

Over deze weerstand moet nog een enkele opmerking worden gemaakt. Voor de praktische toepassing is de relatief grote weerstand een nadeel. Dank zij de vermelde afhankelijkheid van de spanning (fig. 12) kunnen we deze weerstand al heel wat kleiner maken door de spanning hoog te kiezen. Wordt de matrix gebruikt in combinatie met een apparatuur die elektronenbuizen bevat, dan kan dit zonder bezwaar gebeuren. Sinds de opkomst van de transistor bestaat er echter de tendentie om met lage spanningen te werken (beneden 40 V), en in dat geval zou de weerstand van

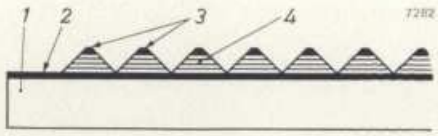


Fig. 13. Doorsnede van een matrix in de werkelijke uitvoering. *1* keramische drager. *2*, *3* elektrodestrippen. De fotogeleidende laag *4* van CdS met email is van diepe groeven voorzien.

elk element van de matrix te groot worden. Hieraan kan tegemoet gekomen worden door een zo groot mogelijke belichtingssterkte te kiezen en door de matrix zo uit te voeren dat in elk beeldelement steeds een aantal, b.v. vier, fotogelijkrichters parallel geschakeld zijn, waardoor de weerstand per element een factor 4 daalt (aldus is de matrix in fig. 3 geconstrueerd, door drievoudige onderverdeling van de bovenstrippen). Dit is natuurlijk in strijd met de eis dat de elementen zo klein mogelijk moeten zijn, om nauwkeurig lezen mogelijk te maken. Men zal op dit punt met een compromis genoegen moeten nemen.

Samenvatting. Een matrix waarmee men automatisch een optisch beeld kan lezen (identificeren), wordt het gemakkelijkst vervaardigd door aan weerszijden van een dunne laag van fotogeleidend CdS evenwijdige elektrodestrippen aan te brengen, zó dat de strippen aan de ene zijde die aan de andere zijde loodrecht kruisen. Deze constructie brengt het optreden van parasitaire stromen met zich mee, die de discriminatie tussen licht en donker belemmeren. Er wordt een nieuw fotogelijkrichtend materiaal beschreven, dat gebaseerd is op een combinatie van een fotogeleider (CdS) en een elektreet (permanent gepolariseerd glasemail). Indien men het gewone CdS door dit fotogelijkrichtend materiaal vervangt, worden de parasitaire stromen voor het grootste gedeelte tegengehouden. Het verschijnsel van de gelijkrichting bij dit materiaal kan met behulp van het bekende schema van energiebanden bevredigend worden verklaard.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ONDERZOEK VAN DE INVLOED VAN LICHT OP PLANTEN

Foto Maurice Broomfield

Invloeden van licht op planten, zoals de invloed van de kleur, de intensiteit en de duur van licht en donker (daglengte-effect), worden bestudeerd aan planten die in speciale kweekkasten groeien [1]). In deze kasten heerst een kunstmatig, geheel reproduceerbaar klimaat: in de spectrale samenstelling van het licht — geleverd door aan weerszijden aangebrachte „TL" lampen — bestaat een ruime keus; de intensiteit en de duur van de bestraling heeft men volkomen in de hand, evenals de temperatuur, het vocht- en het CO_2-gehalte van de atmosfeer in de kast en de samenstelling van de voedingsbodem. De foto toont een kweekkast met o.a. tomaatplanten.

[1]) R. van der Veen, Kweekkasten voor het bestuderen van de plantengroei onder reproduceerbare omstandigheden, Philips techn. T. **12**, 1-5, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvraag overdrukken.

2911: G. W. van Oosterhout: Morphology of synthetic submicroscopic crystals of α- and γ-FeOOH and of γ-Fe_2O_3 prepared from FeOOH (Acta crystallogr. **13**, 932-935, 1960, no. 11).

De oriëntatie van de assen van kristalnaalden van α- en γ-FeOOH en van γ-Fe_2O_3 is bepaald door elektronendiffractie volgens de zg. „selected area"-methode. Voor α-FeOOH (c = 3,03 Å) en γ-FeOOH (c = 3,06 Å) is de naaldas [001] en voor γ-Fe_2O_3 [110]. Dit γ-Fe_2O_3 is verkregen door dehydratie van γ-FeOOH of door reductie van α- of γ-FeOOH, gevolgd door oxydatie. De resultaten worden vergeleken met die van andere onderzoekers, waarbij speciaal de afwijkingen van de door Osmond en Campbell verkregen resultaten worden besproken.

2912: J. M. Stevels: Network defects in non-crystalline solids (Conf. non-crystalline solids te Alfred, N.Y., V.S., sept. 1958, blz. 411-448. Wiley, New York 1960).

Na een overzicht van de tegenwoordige denkbeelden over de structuur van glas, in het bijzonder van kwartsglas, wordt de informatie betreffende deze structuur besproken die men kan verkrijgen uit metingen van de diëlektrische verliezen bij hoge en lage temperaturen te bestuderen en uit het effect op het optische absorptiespectrum van blootstelling aan ultraviolette stralen, röntgen-, gamma- en neutronenstralen. De meting der diëlektrische verliezen veroorlooft onderscheid te maken tussen een vijftal manieren waarop ionen en elektronen zich in glas, kwartsglas en kwarts kunnen bewegen. De combinatie van deze metingen, in het bijzonder van die bij lage temperatuur, met metingen van de optische absorptie en van de paramagnetische resonantie maakt het mogelijk een aantal netwerkdefecten in glas en kwarts te herkennen en te identificeren. Deze methodes leveren soms ook gegevens op over locale kristallisatie in glas of lokale vitrificatie in kwartskristallen. In een aantal gevallen kan het effect van bestraling worden weergegeven door een soort chemische reactievergelijking („operational equation").

2913: J. Rodrigues de Miranda: Photo-sensitive resistor in an overload-preventing arrangement (IRE Trans. on Audio **AU-8**, 137-139, 1960, no. 4).

Beschrijving van een inrichting voor het vermijden van overbelasting van een versterker. Het voorversterkte signaal wordt via een spanningsdeler naar de ingang van een versterker van groot vermogen gevoerd. De spanningsdeler bevat een voor licht gevoelige weerstand (CdS). De uitgang van de versterker voedt een neonlamp, die samen met de genoemde weerstand in een lichtdicht kastje is ondergebracht. De neonlamp gaat licht geven zodra de spanning een zekere minimumwaarde overschrijdt. Daardoor wordt het ingangssignaal verzwakt, zodat overbelasting onmogelijk wordt.

2914: G. Diemer: Nature of an ohmic metal-semiconductor contact (Physica **26**, 889, 1960, no. 11).

De schrijver preciseert zekere onderstellingen betreffende de aard van het contact tussen een indiumelektrode en een halfgeleidend CdS-kristal van type N. Het In zou langs dislocaties e.d. in het kristal diffunderen en aldus naalden („spikes") van geringe weerstand vormen, vanwaaruit de stroom zich verspreidt in het kristal, dat dus een aanzienlijk grotere weerstand heeft.

2915: H. G. van Bueren: The flow stress of germanium crystals (Physica **26**, 997-999, 1960, no. 11).

De schrijver heeft eerder voor de kruipsnelheid van germaniumkristallen een formule gegeven waarin impliciet de snelheid v der dislocaties een rol speelt. Het exponentiële verband tussen de kruipsnelheid enerzijds en de trekspanning en de temperatuur anderzijds kan worden verklaard uit de wijze waarop v van deze grootheden afhangt. Deze zienswijze is min of meer in tegenspraak met resultaten van Haasen en Alexander. Getracht wordt de theorie zodanig uit te breiden dat deze tegenspraak verdwijnt.

2916: M. J. Sparnaaij: Electro-osmosis experiments at the germanium/electrolyte interface (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **79**, 950-961, 1960, no. 9/10).

Mededeling over metingen betreffende het elektro-osmotische vloeistoftransport in een mengsel van Ge (in poedervorm) en een elektrolyt. In analogie met een theorie van Verwey en Payens (oorspronkelijk ontworpen voor oppervlaklagen van zwak geïoniseerde vetzuren) wordt aangenomen dat het oppervlakkig geoxydeerde Ge-poeder in aanraking met een oplossing in water omgeven wordt door een laagje van H_2GeO_3. De H^+-ionen van dit zuur gaan in de oplossing en de zuurresten $HGeO_3^-$ naar het metaal, waar zij een oppervlaklading veroorzaken, die verantwoordelijk is voor de waargenomen verschijnselen. Gewezen wordt nog op het verschillend gedrag van germanium van type P en van type N.

2917: P. M. Rappoldt: Studies on vitamin D and related compounds, XIV; investigations on sterols, XVII. The photoisomerization of pre-ergocalciferol and tachysterol$_2$ (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **79**, 1012-1021, 1960, no. 9/10).

De opbrengst per quantum van de omzetting van pre-ergocalciferol (P) en tachysterol$_2$ (T) in ether bij 20 °C onder de invloed van ultraviolette straling van 2537 Å is respectievelijk 0,49 en 0,11. Eerder is gevonden dat bij bestraling van P kleine hoeveelheden ergosterol (E) en lumisterol$_2$ (L) ontstaan. Gebleken is nu dat E wel uit P ontstaat, maar niet uit T, terwijl vermoedelijk L ontstaat uit T, nadat dit door isomerisatie uit P is gevormd.

2918: P. Westerhof en E. H. Reerink: Investigations on sterols, XVIII. The synthesis and properties of some hydroxylated 9β,10α-pregnanes (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **79**, 1118-1125, 1960, no. 9/10).

Eerder (deze publikaties nos. **2881** en **2882**) is de synthese meegedeeld van een aantal 9β-10α-pregnanen en 9β,10α-androstanen. In vervolg hierop zijn nu de 17α-hydroxyverbindingen van 9β,10α-progesteron en van 6-dehydro-9β,10α-progesteron bereid, alsmede enkele acylaten van deze verbindingen. Proeven op ratten, muizen en konijnen wijzen erop dat de acylaten bij subcutane toediening een sterke werking vertonen die analoog is met die van progesteron. Bij konijnen werken ze ook bij orale toediening.

2919: H. B. G. Casimir: A note on multipole radiation (Helvetica Phys. Acta **33**, 849-854, 1960, no. 8).

De ontwikkeling van een stralingsveld in een reeks van elektrische en magnetische multipoolvelden is reeds door een aantal auteurs onderzocht. Bouwkamp en Casimir hebben aangetoond (1954) dat deze ontwikkeling kan worden verkregen door gebruikmaking van zg. debijepotentialen. Bij deze afleiding werd het gebruik van groepentheorie vermeden. Thans wordt aangetoond dat een groepentheoretische behandeling eveneens leidt tot het gebruik van debijepotentialen.

2920: C. Haas: The diffusion of oxygen in silicon and germanium (Phys. Chem. Solids **15**, 108-111, 1960, no. 1/2).

Uitgaande van een eenvoudig kristalmodel voor de plaatsing van O-atomen in Si- en Ge-kristallen en van de onderstelling dat inwendige wrijving en diffusie beide door hetzelfde relaxatieverschijnsel worden beheerst, is de diffusiecoëfficiënt, $D = D_0\exp -(p/kT)$, berekend met behulp van experimentele gegevens over inwendige wrijving. Het resultaat is voor Si : D_0 = 0,21 cm²/s, U = 2,55 eV; voor Ge : D_0 = 0,17 cm²/s, U = 2,02 eV. De berekende waarden zijn in bevredigende overeenstemming met de beschikbare experimentele gegevens.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

2921: M. J. Sparnaaij: Gas adsorption and surface charge density of germanium surfaces (Phys. Chem. Solids **14**, 111-116, 1960).

Onderzocht is in hoeverre de aanwezigheid van discrete ladingen aan het oppervlak van germaniumkristallen de adsorptie van gassen als argon kan beïnvloeden. Deze invloed is te verwachten bij ladingsdichtheden tussen 10^{13} en 10^{15} elementaire ladingen per cm². Daarbeneden is de invloed te gering en daarboven worden de individuele velden uitgewist. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen de vanderwaalsenergie waarmee de gasatomen op het oppervlak worden vastgehouden, en de in het artikel berekende polarisatie-energieën bij diverse ladingsdichtheden op het oppervlak. Het theoretische resultaat wordt vergeleken met experimentele bepalingen van het verschil in chemische potentiaal van argon, geadsorbeerd aan niet-geoxydeerd en aan geoxydeerd Ge. Dit verschil is van de te verwachten orde van grootte, en de ladingsdichtheid van 10^{14}-10^{15} elementaire ladingen per cm² klopt bovendien met de door Green gevonden verandering van de contactpotentiaal door oxydatie.

2922: W. Albers, C. Haas en F. van der Maesen: The preparation and the electrical and optical properties of SnS crystals (Phys. Chem. Solids **15**, 306-310, 1960, no. 3/4).

Monokristallen van SnS zijn bereid door verhitting van een stoechiometrisch mengsel der componenten in vacuüm tot ca. 800 °C. Het smeltpunt is 880 ± 5 °C. Rombische monokristallen zijn verkregen door het poedervormige preparaat bij 420 °C in vacuüm langzaam door een smeltzone (900 °C) te trekken. Hieruit zijn door splijten ($\perp c$-as) plaatjes verkregen van b.v. 2 bij 0,5 bij 0,3 cm. Uit metingen van het halleffect kon worden afgeleid dat de kristallen halfgeleiders van type *P* zijn, met een gatenconcentratie van 10^{17} a 10^{18} per cm³. De beweeglijkheid μ_p der gaten hangt af van de temperatuur, met een maximum bij ca. 200 °K. Bij kamertemperatuur is μ_p /= 65 cm²/Vs. Voorlopige metingen wijzen op een specifieke geleiding in een richting evenwijdig met de *c*-as die ca. 6 maal zo klein is als die in een richting loodrecht hierop. Voor straling met een golflengte kleiner dan 1 μ zijn de kristallen volkomen ondoorzichtig. Dit wijst op een afstand van volle band tot lege band van 1,07 ± 0,04 eV. Voor golflengten groter dan 1 μ is de absorptiecoëfficiënt evenredig met λ^2. In verband met de klassieke formule van Drude vindt men hieruit een effectieve massa van de gaten die gelijk is aan 0,4 van de massa van een elektron.

2923: J. Hornstra: Dislocations, stacking faults and twins in the spinel structure (Phys. Chem. Solids **15**, 311-323, 1960, no. 3/4).

Het glijvlak in kristallen van het spineltype is vermoedelijk het (111)-vlak, zoals volgt uit analogie met korund. Dit wordt bevestigd door de waargenomen tweelingvorming bij deformatie, welke beschouwd kan worden als een proces waarbij partiële dislocaties met een (111)-glijvlak optreden. Dislocaties met dit glijvlak bestaan vermoedelijk uit vier partiële dislocaties, gescheiden door drie gebieden met stapelfouten. De structuur van deze stapelfouten wordt vergeleken met het volmaakte spinelrooster. Bij het glijden bewegen de kationen zich in een andere richting dan de zuurstofionen. Dit zg. synchroglijproces wordt nader besproken voor het geval dat kationen met viervoudige coördinatie eraan deelnemen. Een ander type stapelfout toont verwantschap met het olivijnrooster. Twee mogelijke configuraties van de (111)-tweelinggrens worden nader besproken.

2924: J. Th. G. Erhardt: Technische beschermingsmaatregelen tegen warmtestraling (Ingenieur **72**, G 78-G 88, 1960, no. 51).

Personeel (en apparatuur) dat b.v. in de buurt van ovens werkzaam is, kan men door middel van stralingsschermen tegen de hitte beschermen. Voor enige soorten reflecterende schermen zijn de temperatuur en de warmtestraling van het buitenscherm berekend als functie van de temperatuur van het af te schermen stralende lichaam. Ten einde na te gaan of de resultaten van de berekeningen voor de praktijk bruikbaar zijn, zijn deze resultaten experimenteel getoetst. De overeenkomst tussen theorie en experiment was goed; de berekende waarden waren aan de hoge, dus aan de veilige kant. Ten slotte worden enige opmerkingen gemaakt over de praktische toepassing van stralingsschermen.

2925: L. J. van der Pauw: An analysis of the circuit of Dauphinee and Mooser for measuring resistivity and Hall constant (Rev. sci. Instr. **31**, 1189-1192, 1960, no. 11).

Bij de meting van de soortelijke weerstand en de hallcoëfficiënt van halfgeleiders met behulp van de schakeling van Dauphinee en Mooser kunnen zich zekere systematische fouten voordoen, die te wijten zijn aan capacitieve verschijnselen in de schakelaar. De grootte van deze fouten wordt geschat, en er wordt uiteengezet hoe men ze kan elimineren met behulp van trimcondensatoren op de goede plaatsen en van een geschikt gekozen schakelprogramma. Bovendien is de gevoeligheid van de schakeling berekend.

2926: H. J. Eichhoff en N. W. H. Addink: Untersuchungen zur Übertragbarkeit spektrochemischer Verfahren mit vollständiger Verdampfung (VIII. Colloquium Spectroscopicum Internationale, Luzern 14-18 sept. 1959, red. H. Guyer, blz. 89-92; Sauerländer, Aarau 1960).

5-10 mg van een materiaal kan spectrochemisch nauwkeurig worden geanalyseerd door het monster volledig te verdampen in een gelijkstroomkoolboog. Zorgvuldige voorbereiding is nodig geweest om voor een zestigtal elementen de methode van analysering vast te stellen. Is de methode echter eenmaal uitgewerkt voor een bepaald type spectrograaf, dan is het betrekkelijk gemakkelijk op een ander type spectrograaf over te gaan: het is dan alleen nodig een overdrachtsfactor te bepalen. Waarden van deze factor zijn gegeven voor verschillende spectrografen in het gebied van 2500-3500 Å. Voor prisma-instrumenten bedraagt hij 1 ± 0,1 over dit gehele gebied, maar voor roosterinstrumenten is hij sterk afhankelijk van de golflengte en tevens van de vorm der groefjes. Resultaten van analyses worden gegeven.

2927: H. Bienfait: Management policy of the Philips Research Laboratory (Spring Meeting of the Industrial Research Institute, Virginia Beach, 8-11 mei 1960, blz. 201-215).

Overzicht van de historische ontwikkeling en de organisatie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, benevens van de verschillende maatregelen die tot doel hebben een gunstig wetenschappelijk klimaat te scheppen. De verhouding tussen het Natuurkundig Laboratorium en de ontwikkelingslaboratoria wordt besproken. Het artikel besluit met een blik in de toekomst.

2928: J. C. Francken en J. van der Waal: Residual gases in picture tubes (Vacuum **10**, 22-26, 1960, no. 1/2).
Zie Philips techn. T. **23**, 92, 1961 (no. 3).

2929: J. H. N. van Vucht: The Ceto getter — its chemical structure and hydrogen gettering properties (Vacuum **10**, 170-177, 1960, no. 1/2).

Onderzoek van de absorptie van waterstof door Th_2Al en van de reactieprodukten die hierbij ontstaan. De evenwichtsdruk van de waterstof boven Th_2Al is gemeten als functie van de temperatuur en van de hoeveelheid geabsorbeerde waterstof. De structuur van de reactieprodukten is bestudeerd door middel van röntgen- en neutronendiffractie en kernspinresonantie. Ook de kinetica van de absorptie is onderzocht voor het geval dat het oppervlak van het Th_2Al bezet is met zuurstof (gedesactiveerd oppervlak). Het blijkt dat dan autokatalyse optreedt, waarvoor een eenvoudige verklaring wordt gegeven. Het onderzoek is voortgevloeid uit de bestudering van de technisch belangrijke niet-verdampende getter „Ceto", die dezelfde structuur heeft als Th_2Al, doch waarin het thorium gedeeltelijk is vervangen door cerium en lanthaan. Zie ook **R 411**.

2930: W. K. Westmijze: Eigenschaften und Anwendungen von Magnetkernen in der Meßwertverarbeitung (Elektrotechn. Z. **A 81**, 779-783, 1960, no. 22).

De verwerking van door meting verkregen gegevens speelt een grote rol in de moderne regeltechniek. Vaak is het nodig de meetgegevens, of de door verwerking hiervan verkregen resultaten, op te slaan in een geheugen, waaruit ze op een ander tijdstip weer te voorschijn gebracht moeten worden. Voor vele toepassingen is het nodig dat zowel het opslaan als het te voorschijn halen zeer snel geschiedt. In dit artikel wor-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

den de eigenschappen van magneetkernen voor dit doel besproken. Het artikel besluit met de bespreking van een eenvoudig voorbeeld.

2931: J. A. M. Dikhoff: Cross-sectional resistivity variations in germanium single crystals (Solid-state electronics **1**, 202-210, 1960, no. 3).

Germaniummonokristallen vertonen in de dwarsdoorsnede vaak een ongewenste inhomogene verdeling van de vreemde elementen die men in het kristal wil opnemen. Het is gebleken dat gedurende de groei van een kristal zich vlakke facetten kunnen vormen op een overigens gekromd stolvlak. Deze facetten vallen samen met (111)-vlakken. De oorzaak van het ontstaan der inhomogeniteit is dat voor verscheidene elementen de segregatieconstante verschilt voor het vlakke en voor het gekromde gedeelte van het stolvlak. Er worden methodes besproken om inhomogeniteit te vermijden.

2932: B. G. van den Bos: Investigations on pesticidal phosphorus compounds, III. The structure of the reaction product of 3-amino-5-phenyl-1,2,4-triazole and bis-(dimethylamido)phosphoryl chloride (WP 155) (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **79**, 1129-1136, 1960, no. 11).

De reactie van 3-amine-5-fenyl-1,2,4-triazool met bis(dimethylamido)fosforylchloride geeft een verbinding (WP 155) die een goede werking tegen meeldauwschimmels heeft. Vergelijking van de U.V.-absorptiespectra van een broomverbinding die uit WP 155 werd bereid en van de drie N-ethyl-3-broom-5-fenyl-1,2,4-triazolen en van de drie bekende N-methyl-3-methyl-5-fenyl-1,2,4-triazolen, rechtvaardigt de conclusie dat WP 155 identiek is met 5-amino-1-(bis(dimethylamido)fosforyl)-3-fenyl-1,2,4-triazool.

2933: J. H. Uhlenbroek en J. D. Bijloo: Investigations on nematicides, III. Polythienyls and related compounds (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **79**, 1181-1196, 1960, no. 11).

Onderdeel van een onderzoek naar de toepassingsmogelijkheid van polythiënylen ter bestrijding van bodemaaltjes (nematoden; zie ook de publikaties nos. **2692**, **2743** en **2786**). Een aantal isomere polythiënylen en enige gemengde polyfenylthiënylen zijn op hun nematicide werking onderzocht. Alle verbindingen met sterke nematicide werking bleken 2,2′-bithiënylderivaten te zijn. Enige nieuwe verbindingen worden beschreven, o.a. 2,3′-4′,2″-terthiënyl, 1,4-di(2-thiënyl)benzeen, en verscheidene methylpolythiënylen.

2934: J. R. Roborgh en Th. J. de Man: The hypercalcemic activity of dihydrotachysterol$_2$ and dihydrotachysterol$_3$ and of the vitamins D_2 and D_3 after intravenous injection of the aqueous preparations, II. Comparative experiments on rats (Biochem. Pharmacol. **3**, 277-282, 1960).

De vitaminen D en de daarvan afgeleide dihydrotachysterolen kunnen het calciumgehalte van het bloedserum doen stijgen (hypercalcemisch effect). In een vroeger onderzoek (zie publikatie no. **2785**) is gevonden dat, bij orale toediening van deze preparaten in olie, dihydrotachysterol$_3$ de grootste activiteit bezit, gevolgd door dihydrotachysterol$_2$, vitamine D_3 en vitamine D_2. Dezelfde volgorde in activiteit is nu aangetoond bij intraveneuze toediening van de preparaten in een dispersie in water. Twee tot vier dagen na de toediening vertoont het serum het hoogste calciumgehalte. De activiteitsverhoudingen blijken weer in hoge mate af te hangen van het tijdsverloop tussen de toediening en het moment waarop het bloed wordt afgenomen, en tonen een redelijk goede overeenstemming met de resultaten van het vorige onderzoek.

R 411: J. H. N. van Vucht: Ternary system Th-Ce-Al (Philips Res. Repts. **16**, 1-40, 1961, no. 1).

Beschrijving van een onderzoek van het ternaire systeem Th-Ce-Al, met een overzicht van gegevens over de binaire systemen Th-Al, Ce-Al en Th-Ce en over het element cerium. In het systeem Th-Ce-Al is geen ternaire verbinding gevonden. Het onderzoek is hoofdzakelijk verricht om de structuur te bepalen van „Ceto", een niet-verdampende getter; deze structuur wordt beschreven. Zie ook **2929**.

R 412: P. C. Newman, J. C. Brice en H. C. Wright: The phase diagram of the gallium-tellurium system (Philips Res. Repts. **16**, 41-50, 1961, no. 1).

Het toestandsdiagram van het systeem gallium-tellurium is onderzocht door middel van differentiële thermische analyse en van directe smeltpuntsmetingen onder constant gehouden telluriumdrukken. Er zijn twee nieuwe verbindingen (Ga_3Te_2 en $GaTe_3$) en twee reeds bekende (GaTe en Ga_2Te_3) gevonden. Deze resultaten zijn bevestigd door röntgenopnamen. De eerste twee verbindingen zijn bij kamertemperatuur niet stabiel. Het blijkt dat $GaTe_3$ een hexagonale eenheidscel heeft, met $a = 6{,}43$ Å en $c = 14{,}20$ Å. Het smeltpunt van GaTe is 835 ± 2 °C bij een Te-druk van 0,06 mm Hg, dat van Ga_2Te_3 is 792 ± 2 °C bij een Te-druk van 2 mm Hg. De bovenste ontledingstemperaturen van Ga_3Te_2 en $GaTe_3$ zijn resp. 753 ± 2 °C en 429 ± 2 °C.

R 413: J. D. Fast en M. B. Verrijp: Internal friction in lightly deformed pure iron wires (Philips Res. Repts. **16**, 51-65, 1961, no. 1).

De inwendige wrijving (demping van vrije torsietrillingen van zuivere (99,99 %) ijzerdraden is gemeten voordat en nadat de draden een zeer kleine plastische deformatie hadden ondergaan. Het blijkt dat de demping na deformatie sterk afhangt van de deformatie-amplitude, de temperatuur waarbij gedeformeerd is en de meettemperatuur. Van de draden die gedeformeerd waren bij temperaturen beneden −30 °C nam de demping spontaan met de tijd toe; waren de draden gedeformeerd boven −30 °C, dan nam de demping daarentegen spontaan af. In het laatste geval blijkt de logaritme van de demping een lineaire functie van t^p te zijn, waarin t de tijd voorstelt en p een constante is die tussen 0,2 en 1,0 ligt, en die van experiment tot experiment verschilt. Proeven met verhoogde concentraties van vacatures en koolstofatomen hebben aangetoond dat de spontane afneming van de demping veroorzaakt wordt doordat puntdefecten naar de dislocaties diffunderen en deze verankeren. De spontane toeneming van de demping komt waarschijnlijk tot stand doordat opeengehoopte dislocaties zich verspreiden.

R 414: L. Schmieder: The behaviour of the mercury high-pressure arc under mechanical vibrations (Philips Res. Repts. **16**, 66-84, 1961, no. 1).

Als men een hogedrukkwiklamp sinusvormig laat trillen in een richting loodrecht op de as van de ontlading, stijgt de boogspanning. Als zowel de frequentie als de amplitude van de snelheid zekere grenzen overschrijden, zal de boog zelfs doven. Dit verschijnsel kan worden verklaard door aan te nemen dat de mechanische trillingen een gedwongen gasstroom veroorzaken, die een zeker energieverlies van de boog door convectie ten gevolge heeft. Geeft men de lamp plotseling een (constante) versnelling, dan vergt het enige tijd alvorens het bijbehorende patroon van de poiseuillestroming constant geworden is. Deze overgangstijd verklaart het bestaan van een kritische frequentie voor het doven van de ontlading. Boven deze frequentie gedraagt het gas zich als gevolg van zijn traagheid als een wrijvingsloze vloeistof. De convectieverliezen zijn evenredig met de amplitude van de snelheid van de mechanische trilling. De „mechanische stabiliteit" van de boog is gedefinieerd als de amplitude van de snelheid die, bij frequenties boven de kritische frequentie, nodig is om de boog te doven. Een theoretische behandeling leert dat deze grootheid recht evenredig is met de buisdiameter en omgekeerd evenredig met de massa van het gas per lengte-eenheid van de buis. De experimentele resultaten stemmen vrij goed overeen met de theorie.

R 415: J. A. W. van der Does de Bye: Signal-to-noise ratio of a *P-N*-junction radiation counter (Philips Res. Repts. **16**, 85-95, 1961, no. 1).

Röntgenquanta kunnen geteld worden met behulp van een *P-N*-diode waarover een spanning staat in de keerrichting en die een geringe capaciteit heeft. De quanta veroorzaken paren van gaten en elektronen in het ruimteladingsgebied tussen het *P*- en het *N*-gebied. Hun lading draagt volledig bij tot het signaal, en maakt spectrometrie van de röntgenstraling mogelijk. Deze publikatie behandelt in hoofdzaak de invloed van de ruis op de signaalwaarneming bij gebruik van een buizenversterker met twee *RC*-netwerken, die de impulsstroom bepalen. Bij een bepaalde keus van buizen en netwerken wordt de ruis voornamelijk bepaald door de diodestroom I_g en door de hagelruis van de eerste versterkbuis. Men vindt een kwaliteitsfactor $C^2R_{eq}I_g$, waarin C de totale ingangscapaciteit is en R_{eq} de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

equivalente ruisweerstand van de eerste versterkbuis. Deze factor bepaalt de minimale quantumenergie (6 keV) waarbij stralingsdetectie nog mogelijk is, en de spectrale lijnbreedte (3 keV) waarbij quanta van verschillende energieën nog onderscheiden kunnen worden. De experimenteel gevonden waarden zijn 1,5 keer zo groot.

R 416: M. Koedam: Cathode sputtering by rare-gas ions of low energy (Philips Res. Repts **16,** 101-144, 1961, no. 2).

Zoals bekend is, emitteert een metaal ionen als het met gasionen beschoten wordt. Dit verschijnsel heet katodeverstuiving; het is, al meer dan een eeuw geleden, voor het eerst opgemerkt bij een gasontlading tussen twee (koude) elektrodes. Dit proefschrift (Utrecht, maart 1961) beschrijft metingen met mono-energetische edelgasionen die loodrecht op het metaaloppervlak vallen. De ionenenergie varieerde tussen 40 en 1500 eV. Hoofdstuk I bevat een overzicht van de belangrijkste literatuur. Hoofdstuk II beschrijft de apparatuur, en enkele metingen om de energieverdeling van de gasionen te bepalen. Hoofdstuk III behandelt hoe men het aantal door katodeverstuiving vrijgemaakte atomen kan bepalen. Na een overzicht van vroegere methodes volgt een uitgebreide beschrijving van de methode die in dit onderzoek toegepast is: het verstoven metaal werd op een glazen plaatje opgevangen, waarna uit de optische doorlating de hoeveelheid bepaald werd. Dit hoofdstuk bevat ook een vergelijking van de structuur van door verstuiving en door verdamping verkregen lagen van zilver en koper. De experimentele resultaten volgen in hoofdstuk IV. De verhouding tussen het verstuivingsrendement (atomen per ion) en de energie van de gasionen (die tussen 40 en 250 eV varieerde) is bepaald voor veelkristallig zilver. Voor enkelkristallig koper dat met gasionen met energieën tot 1500 eV werd beschoten, is de hoekverdeling der verstoven koperionen bepaald. Daarbij bleek dat de <110>- en <100>-richtingen voorkeursrichtingen zijn, terwijl de hoekverdeling ook afhangt van de soort en de energie der ionen. De experimentele resultaten worden in hoofdstuk V bediscussieerd en vergeleken met die van andere auteurs. Het bestaan van voorkeursrichtingen bij het verstuiven, en de verandering van de hoekverdeling met de ionenenergie worden theoretisch verklaard.

R 417: A. J. W. Duijvestijn en A. J. Dekkers: Chebyshev approximations of some transcendental functions for use in digital computing (Philips Res. Repts. **16,** 145-174, 1961, no. 2).

Beschrijving van methodes om voor continue functies in een gegeven interval de „beste benadering" door middel van eindige polynomen of eindige kettingbreuken te vinden. Deze methodes zijn alle iteratief. Het artikel bevat ook directe methodes om een benadering te vinden van zo'n „beste benadering".

R 418: B. H. Schultz: On the study of volume recombination of excess charge carriers in semiconductors with the aid of photoconductance (Philips Res. Repts. **16,** 175-181, 1961, no. 2).

Beschrijving van een methode om oppervlakeffecten te elimineren bij het bepalen van recombinatietijden van gaten en elektronen in halfgeleiders door middel van fotogeleidingsmetingen. Uit deze metingen volgt bovendien direct of de gevonden waarde van de recombinatietijd betrouwbaar is of niet.

R 419: B. H. Schultz: Recombination at copper and at nickel centres in *P*-type germanium (Philips Res. Repts. **16,** 182-186, 1961, no. 2).

De recombinatiesnelheid van extra-gaten en -elektronen bij kopercentra in germanium is afhankelijk van de temperatuur. Als men bovendien nog enig antimoon aan het germanium heeft toegevoegd, waardoor de acceptorwerking van het koper gedeeltelijk wordt gecompenseerd, vindt men een andere afhankelijkheid van de temperatuur. Alle resultaten kunnen verklaard worden door aan te nemen dat niet alleen bij koperionen, maar ook bij neutrale koperatomen recombinatie plaatsvindt. Op deze wijze wordt de tegenspraak tussen de resultaten van vroegere onderzoekers opgeheven. Voor het geval van nikkel, waar een soortgelijke situatie bestaat, kon de tegenspraak niet worden opgeheven. Hier waren eigen metingen in overeenstemming met die van Wertheim, maar niet met die van Kalashnikow en Tissen.

R 420: L. J. van der Pauw: Determination of resistivity tensor and Hall tensor of anisotropic conductors (Philips Res. Repts. **16,** 187-195, 1961, no. 2).

De weerstandstensor van een anisotrope geleider, betrokken op een willekeurig rechthoekig coördinatensysteem, kan worden beschreven met zes constanten. Er wordt bewezen dat het verband tussen deze zes constanten en de in het artikel nader gedefinieerde „oppervlakweerstanden" van zes dunne plakjes van het materiaal gegeven wordt door zes lineaire vergelijkingen. De vorm van de plakjes mag willekeurig worden gekozen, evenals de oriëntatie ten opzichte van de kristallografische assen, mits deze oriëntatie bekend is. Het halleffect kan worden beschreven met negen constanten. Drie monsters zijn voldoende om deze negen constanten te bepalen, als aan elk der monsters wordt gemeten met de magnetische inductie in drie verschillende richtingen.

A 35: R. Groth: Über Ultrarotempfänger auf der Basis von Phosphoren (Z. Naturf. **16a,** 169-172, 1961, no. 2).

Er wordt een infrarooddetector voorgesteld die gebaseerd is op voor infrarood gevoelige fosforen. Het principe van dergelijke detectors wordt verklaard, en experimentele resultaten, verkregen met een SrS-Ce-Sm-fosfor, worden beschreven. Het bleek mogelijk een gevoeligheid van 6×10^{-11} watt voor golflengten in de buurt van 1 micron te bereiken.

A 36: I. Maak, P. Eckerlin en A. Rabenau: Über $GaF_3.3H_2O$ und andere Trifluoridtrihydrate (Naturwiss. **48,** 218, 1961, no. 7).

Voorlopige beschrijving van een onderzoek van de structuur van $GaF_3.3H_2O$. Deze verbinding geeft hetzelfde röntgenogram als α-$AlF_3.3H_2O$, en vormt mengkristallen hiermee in alle verhoudingen. De roosterconstanten van $GaF_3.3H_2O$, en van andere verbindingen die isomorf zijn met α-$AlF_3.3H_2O$ of met β-$AlF_3.3H_2O$, worden vermeld.

A 37: K. Weiss, P. Fielding en F. A. Kröger: Untersuchungen an kupferdotiertem Wismuttellurid Bi_2Te_3 (Z. phys. Chem. (Frankfurt a.M.) Neue Folge **26,** 145-158, 1960, no. 3/4).

Onderzoek naar de invloed van koper op de elektrische en mechanische eigenschappen van Bi_2Te_3 van type *P*. De experimentele resultaten zijn niet goed in overeenstemming met de veronderstelling dat alle koperatomen interstitieel geplaatst zijn. Het gedrag van het opgeloste koper kan beter worden begrepen als men rekening houdt met de lamellaire structuur van Bi_2Te_3 en de daaruit resulterende anisotropie van het rooster.

A 38: A. Klopfer en W. Schmidt: An omegatron mass spectrometer and its characteristics (Vacuum **10,** 363-372, 1960, no. 5).

Beschrijving van een omegatron met edelmetalen elektrodes. De gevoeligheid kan binnen 10 % constant worden gehouden door middel van een geschikt elektrostatisch veld. De gevoeligheid verandert zelfs niet onder langdurige inwerking van gassen en dampen zoals H_2O, CO_2 en CH_4, en is reproduceerbaar van omegatron tot omegatron, mits de dimensies constant worden gehouden. Vergelijkt men de in de literatuur opgegeven waarden van de ionisatiewaarschijnlijkheid met die welke uit de ijkkromme van het omegatron zijn berekend, dan blijkt dat bijna alle door de elektronenbundel gevormde resonantie-ionen de ionencollector bereiken. De instelling van het omegatron die nodig is om deze toestand te krijgen, is in het algemeen onafhankelijk van de massa. Enige eigenschappen van het omegatron worden besproken. Zie ook Philips techn. T. **22**, 199, 1960 (no. 6) en **23**, 92, 1961 (no. 3).

A 39: G. Schuchhardt: Ion movements in an omegatron (Vacuum **10**, 373-376, 1960, no. 5).

Onderzoek naar de beweging van resonantie- en niet-resonantie-ionen in het in **A 38** beschreven omegatron. Er wordt bewezen dat het elektrostatische hulpveld dat in omegatrons van dit type wordt toegepast, voorwaarden schept die leiden tot optimale vangst van resonantie-ionen en tot reproduceerbare resultaten. Ruimteladingseffecten worden geschat, en er wordt een uitdrukking voor het scheidende vermogen afgeleid.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!